



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA  
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA  
DE MINAS Y ENERGÍA



Trabajo Fin de Grado

# **INSTALACIONES TÉRMICAS DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CONFORME A CRITERIOS DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO**

**THERMAL INSTALLATIONS OF A SINGLE-FAMILY HOME  
ACCORDING TO NEAR ZERO ENERGY CRITERIA**

Para acceder al título de:

**GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS**

**Autor: Manuel Antonio Ceballos Montalvo**

**Director: Juan Carcedo Haya**

**Convocatoria: septiembre 2021**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL .....	6
1.2. EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO .....	6
1.2.1. Características de un edificio de consumo casi nulo .....	7
<b>2. OBJETIVO Y ALCANCE .....</b>	<b>9</b>
<b>3. CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.....</b>	<b>10</b>
3.1. DB-HE0 LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO .....	10
3.2. DB-HE1 CONDICIONES PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA .....	10
3.3. DB-HE2 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS.....	11
3.4. DB-HE3 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN .....	12
3.5. DB-HE4 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....	12
3.6. DB-HE5 GENERACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	13
<b>4. REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....</b>	<b>14</b>
4.1. ENVOLVENTE TÉRMICA.....	14
4.1.1. Transmitancia térmica .....	15
4.1.2. Tipos de aislamiento.....	17
4.1.3. Ventanas .....	21
4.1.4. Diseño bioclimático .....	24
4.1.5. Ventilación con recuperación de calor .....	25
<b>5. REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO .....</b>	<b>26</b>
5.1. CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS .....	26
5.1.1. Bomba de calor aerotérmica .....	26
5.1.2. Suelo radiante.....	28
5.1.3. Acumulador .....	31
5.2. PANELES FOTOVOLTÁICOS .....	31
5.2.1. Clasificación de células solares .....	33
5.2.2. Módulos fotovoltaicos .....	34
<b>6. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA .....</b>	<b>35</b>
6.1. APLICACIÓN DB-HE0 LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO .....	36
6.2. APLICACIÓN DB-HE1 CONDICIONES PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA.....	38
6.2.1. Transmitancia térmica límite.....	38



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*



6.2.1. Control solar .....	45
6.3. APLICACIÓN DB-HE2 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS.....	46
6.3.1. Cargas térmicas .....	47
6.3.2. Demanda de agua caliente sanitaria .....	54
6.3.3. Sistema de calefacción .....	60
6.4. APLICACIÓN DEL DB-HE4 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA .....	77
6.5. APLICACIÓN DEL DB-HE5 GENERACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	78
6.5.1. Instalación fotovoltaica 1 .....	79
6.5.2. Instalación fotovoltaica 2 .....	85
<b>7. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA.....</b>	<b>93</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>103</b>
8.1. ANEXO I Planos .....	103
8.2. ANEXO II Huecos.....	114
8.3. ANEXO III Cargas térmicas .....	119
8.4. ANEXO IV Suelo radiante .....	134
8.5. ANEXO V Calefacción anual .....	138
8.6. ANEXO VI Comparativa paneles .....	146
<b>9. PLIEGO DE CONDICIONES.....</b>	<b>151</b>
<b>10. PRESUPUESTO .....</b>	<b>168</b>
<b>11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>172</b>



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1. Edificio de consumo casi nulo. ....	8
Ilustración 3.1. Transmisión de calor. ....	11
Ilustración 4.1. Espacios habitables. ....	15
Ilustración 4.2. Diferencia entre aislamientos. ....	17
Ilustración 4.3. Sistema SATE. ....	18
Ilustración 4.4. Fachada ventilada. ....	19
Ilustración 4.5. Aislante proyectado. ....	19
Ilustración 4.6. Aislante inyectado. ....	20
Ilustración 4.7. Transmisión vidrios. ....	23
Ilustración 4.8. Vidrio bajo emisivo. ....	23
Ilustración 4.9. Orientación vivienda. ....	24
Ilustración 4.10. Protección solar. ....	24
Ilustración 4.11. Ventilación mecánica. ....	25
Ilustración 5.1. Bomba de calor. ....	27
Ilustración 5.2. Sección suelo radiante. ....	28
Ilustración 5.3. Serpentín simple. ....	29
Ilustración 5.4. Serpentín doble. ....	29
Ilustración 5.5. Serpentín espiral. ....	29
Ilustración 5.6. Colector. ....	30
Ilustración 5.7. Instalación climatización. ....	31
Ilustración 5.8. Efecto fotoeléctrico. ....	32
Ilustración 5.9. Células solares. ....	34
Ilustración 6.1. Alzado norte y este. ....	35
Ilustración 6.2. Alzado sur y oeste. ....	35
Ilustración 6.3. Planta garaje y vivienda. ....	36
Ilustración 6.4. Zonas climáticas. ....	36
Ilustración 6.5. Limitación energía no renovable. ....	37
Ilustración 6.6. Limitación energía total. ....	37
Ilustración 6.7. Compacidad. ....	38
Ilustración 6.8. Limitación transmitancia. ....	39
Ilustración 6.9. Resistencias térmicas superficiales. ....	39
Ilustración 6.10. Resistencia térmica cámara de aire. ....	39
Ilustración 6.11. Transmitancia lineal forjado. ....	43
Ilustración 6.12. Transmitancia lineal cubierta. ....	43
Ilustración 6.13. Transmitancia lineal fachada. ....	43
Ilustración 6.14. Condiciones de diseño exteriores. ....	53
Ilustración 6.15. Número de personas ACS. ....	55
Ilustración 6.16. Coeficientes simultaneidad. ....	58
Ilustración 6.17. Suelo radiante tipo A. ....	61
Ilustración 6.18. Curvas suelo radiante. ....	65
Ilustración 6.19. Curva característica básica. ....	67
Ilustración 6.20. Sección de suelo radiante tipo A. ....	69
Ilustración 6.21. Curvas características bombas Wilo. ....	75
Ilustración 6.22. Conexión paneles en serie. ....	88



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*



Ilustración 6.23. Conexión en paralelo.....	88
Ilustración 6.24. Conexión mixta paneles. ....	89
Ilustración 6.25. Distancia entre paneles. ....	90
Ilustración 6.26. Secciones normalizadas.....	92
Ilustración 7.1. Datos generales CE3X. ....	93
Ilustración 7.2. Datos cubierta CE3X.....	94
Ilustración 7.3. Transmisión cubierta CE3X. ....	94
Ilustración 7.4. Datos fachadas CE3X.....	95
Ilustración 7.5. Fachada norte CE3X. ....	96
Ilustración 7.6. Ventana dormitorio 1 CE3X.....	96
Ilustración 7.7. Ventana distribuidor norte CE3X.....	97
Ilustración 7.8. Ventanas baños CE3X.....	97
Ilustración 7.9. Ventanal norte CE3X. ....	98
Ilustración 7.10. Fachada este CE3X. ....	98
Ilustración 7.11. Fachada oeste CE3X. ....	99
Ilustración 7.12. Fachada sur CE3X.....	99
Ilustración 7.13. Ventanas dormitorios 2 y 3 CE3X.....	100
Ilustración 7.14. Ventanas distribuidor sur CE3X.....	100
Ilustración 7.15. Ventanal sur CE3X.....	101
Ilustración 7.16. Forjado CE3X.....	101
Ilustración 7.17. Instalaciones CE3X. ....	102
Ilustración 7.18. Certificación CE3X. ....	102



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Superficie útil. ....	36
Tabla 6.2. Superficie envolvente térmica. ....	38
Tabla 6.3. Composición de la fachada. ....	40
Tabla 6.4. Composición de la cubierta. ....	40
Tabla 6.5. Composición del forjado. ....	41
Tabla 6.6. Transmitancia huecos. ....	42
Tabla 6.7. Resumen transmitancias. ....	44
Tabla 6.8. Cálculo parámetro k superficie. ....	44
Tabla 6.9. Cálculo parámetro k puentes térmicos. ....	45
Tabla 6.10. Cálculo parámetro k área de intercambio. ....	45
Tabla 6.11. Ganancias solares. ....	46
Tabla 6.12. Carga sensible por ocupantes. ....	50
Tabla 6.13. Condiciones de diseño interiores. ....	52
Tabla 6.14. Cargas de calefacción. ....	53
Tabla 6.15. Cargas de refrigeración. ....	54
Tabla 6.16. Temperatura del suministro del agua. ....	55
Tabla 6.17. Demanda calorífica ACS. ....	56
Tabla 6.18. Caudales instantáneos. ....	57
Tabla 6.20. Valores suelo radiante. ....	62
Tabla 6.21. Flujo térmico límite. ....	62
Tabla 6.22. Flujo térmico específico. ....	63
Tabla 6.23. Pasos estudiados. ....	63
Tabla 6.24. Curvas características. ....	64
Tabla 6.25. Parámetros de curvas límite. ....	65
Tabla 6.26. Curvas límite. ....	65
Tabla 6.27. Diferencia de temperatura. ....	66
Tabla 6.28. Flujo térmico q <sub>G</sub> . ....	66
Tabla 6.29. Evaluación de pasos. ....	67
Tabla 6.30 Longitud de tubo. ....	68
Tabla 6.31. Flujo de estancia crítica. ....	70
Tabla 6.32. Flujo de suelo radiante. ....	71
Tabla 6.33. Pérdidas de carga en circuitos. ....	74
Tabla 6.34. Pérdida de carga bomba-colector. ....	74
Tabla 6.35. Consumo anual de calefacción. ....	78
Tabla 6.36. Radiación según inclinación. ....	80
Tabla 6.37. Producción supuesto 1. ....	82
Tabla 6.38. Electricidad anual. ....	82
Tabla 6.39. Consumo eléctrico mensual. ....	83
Tabla 6.40. Gasto anual supuesto 1. ....	83
Tabla 6.41. Resumen supuesto 1. ....	85
Tabla 6.42. Producción eléctrica supuesto 2. ....	86
Tabla 6.43. Gasto de electricidad supuesto 2. ....	86
Tabla 6.44. Amortización supuesto 2. ....	87



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL**

El calentamiento global está obligando a tomar medidas para contrarrestarlo, entre las que destacan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El 11 de diciembre de 1997 fue aprobado el “Protocolo de Kioto”, en el cual se establecía una reducción de dichos gases del 5% en 2012, respecto a los niveles de 1990.

Actualmente, Europa propone un plan aún más ambicioso, conocido como “El pacto verde europeo”, en el que se busca conseguir una reducción del 55% de emisiones en 2030 (respecto a 1990) y ser climáticamente neutra en 2050.

Una de las medidas para lograr estos objetivos son construcciones eficientes, ya que alrededor del 40% del consumo total de energía en la Unión Europea corresponde a los edificios.

De aquí surge la necesidad de los “Edificios de consumo de Energía Casi Nulo” (EECN), dicho término viene recogido en la “Directiva 2010/31UE” [1] y en el “Código Técnico de la Edificación” (CTE) para España. Esta directiva establece que, desde el 31 de diciembre de 2020 como fecha máxima, todos los edificios de nueva construcción, tanto privados como públicos, deberán ser Edificios de consumo de Energía Casi Nulo, definiéndose como un edificio con una demanda energética muy baja, fuentes renovables de energía para satisfacer la mayor parte de esta demanda y una alta eficiencia energética, es decir, se imponen medidas para reducir tanto la demanda como el consumo de los edificios.

Para conseguir reducir la demanda al mínimo se deben abordar una serie de medidas que abarcan desde el propio diseño del edificio, la limitación de las pérdidas, y ganancias indeseadas mediante un adecuado diseño de la envolvente térmica del edificio, y uso de recuperadores de calor.

Para reducir el consumo energético (de fuentes de energía no renovable) se debe recurrir a instalaciones de energía renovable, siendo los más comunes en edificación los paneles solares o paneles fotovoltaicos.

### **1.2. EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO**

Los edificios de consumo de energía casi nulo se diferencian por una alta eficiencia energética, entendiéndose esta como una menor demanda de energía y un menor consumo de energía no renovable para satisfacer esta demanda.

Los principales consumos de una vivienda en España según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) se muestran en el siguiente gráfico [2]:

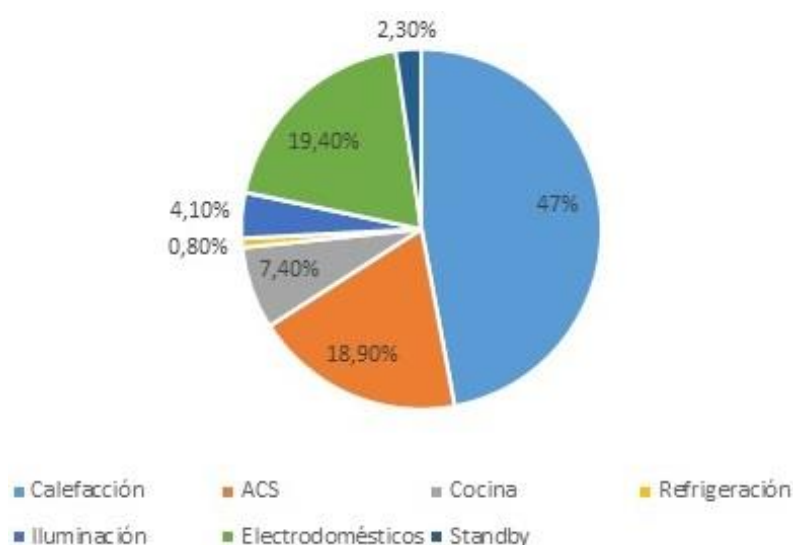


Gráfico 1.1. Consumo de energía en edificios Fuente: Propia.

Como se puede apreciar, más del 60% del consumo total de una vivienda es referente a la calefacción y al agua caliente sanitaria (ACS).

Actualmente, para obtener esta energía se recurre, en gran medida, a un uso de combustibles fósiles que, además de no ser una forma eficiente de energía, suponen un aumento en la factura y contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero.

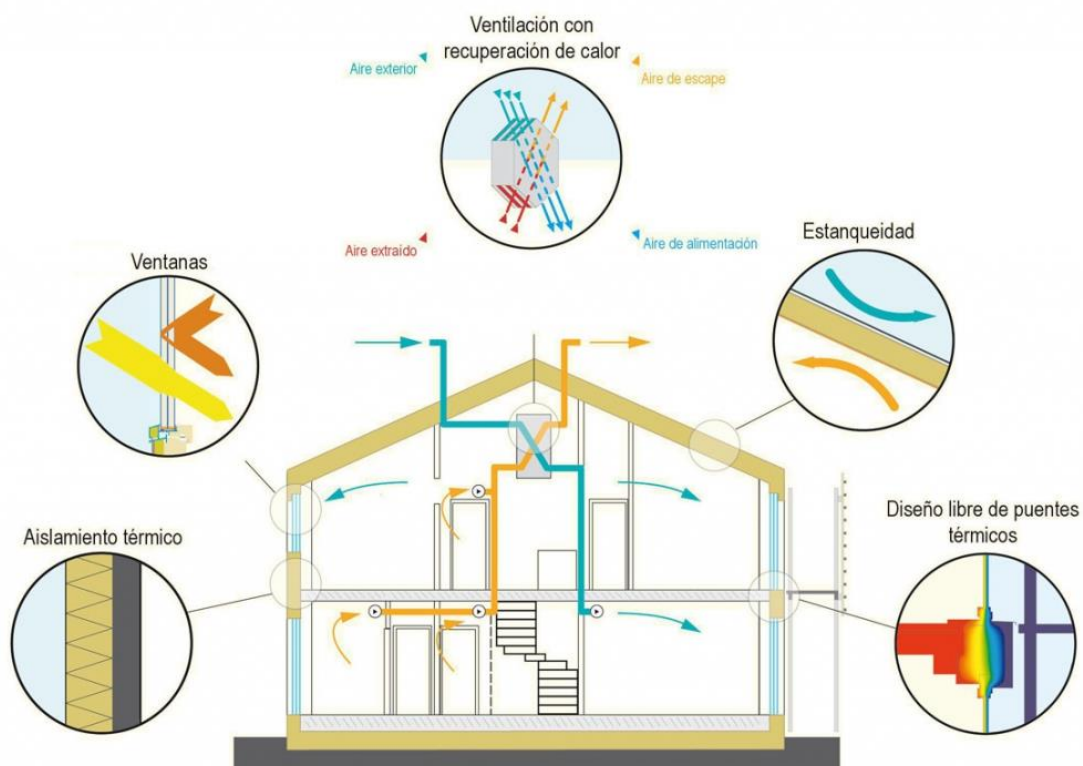
### 1.2.1. Características de un edificio de consumo casi nulo

El ahorro energético conseguido en estos edificios se basa, sobre todo, en una buena envolvente térmica, evitando los puentes térmicos, entendiéndose como tal todo punto del edificio en el que se produce una pérdida de energía (calor), ya sea debido a una discontinuidad en la capa de aislamiento, un encuentro de materiales o un cambio de geometría, provocando la aparición de puntos fríos y humedades en el interior.

Por lo tanto, la estrategia a seguir en la construcción es conseguir un edificio lo más herméticamente aislado posible del exterior, por lo que tanto el tipo de aislamiento, como del material a utilizar, son de vital importancia.

Debido a esta hermeticidad, será necesaria la presencia de un sistema de ventilación mecánica para asegurar la salubridad del aire interior. Para satisfacer dicha, se utilizará una instalación con recuperación de calor, la cual será combinada con una instalación de suelo radiante y una bomba de calor como caldera, consiguiendo una alta eficiencia energética y prácticamente una nula emisión de gases de efecto invernadero [3]:





*Ilustración 1.1. Edificio de consumo casi nulo. Fuente: [www.eco-house.com](http://www.eco-house.com)*



## **2. OBJETIVO Y ALCANCE**

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y cálculo tanto de la envolvente térmica de una vivienda unifamiliar, como de las instalaciones necesarias para cumplir con las demandas térmicas de dicha vivienda, según los estándares establecidos por el CTE. Para ello se recurrirá a medidas tanto de la reducción de la demanda, como del consumo energético del edificio.



### **3. CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN**

El Código Técnico de la Edificación (CTE) comprende el conjunto de normativa aplicable tanto a los edificios de nueva construcción, como a edificios ya existentes, garantizando unas condiciones aceptables de seguridad y salubridad.

El 20 de diciembre de 2019 se publicó la última actualización del documento básico de ahorro de energía (DB-HE) [4], que forma parte del CTE, el cual establece las diferentes medidas referentes al uso energético en los edificios para cumplir con las exigencias establecidas por la Directiva 2010/31UE.

El DB-HE se organiza en 6 secciones, desde el HE0 al HE5.

Estas secciones están ordenadas desde los aspectos más generales a los más particulares en lo referente a la eficiencia energética de un edificio, comienza por el consumo energético de este, seguido de la definición de la envolvente térmica y las instalaciones técnicas.

El proceso de aplicación de este documento, sin embargo, se realiza en sentido contrario. Es decir, se iniciará por el correcto diseño del edificio, descripción de la envolvente térmica y las instalaciones técnicas, y finalmente se evaluará el consumo energético del edificio [5].

A continuación, se resumen las diferentes secciones:

#### **3.1. DB-HE0 LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO**

En esta sección se establece los valores límite referentes al consumo de energía primaria total (independientemente de si es o no renovable) y consumo de energía primaria no renovable.

Esta limitación se realiza en función de la zona climática en la que se ubica el edificio y su uso.

#### **3.2. DB-HE1 CONDICIONES PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA**

En esta sección establece las condiciones que debe disponer la envolvente térmica de un edificio de tal forma que limite las necesidades de energía primaria sin renunciar a las condiciones de bienestar térmico, en función de la climatología, uso y compacidad del edificio

Para un correcto cumplimiento de la sección, se debe tener especial atención en cinco aspectos:

1. La transmitancia térmica global (K) de la envolvente del edificio y las transmitancias por elementos (U).
2. El control del factor solar de la envolvente térmica (q).
3. Permeabilidad al aire de la envolvente ( $Q_{100}$  y  $n_{50}$ ).

4. Limitar las descompensaciones entre estancias (U de tabiques).
5. Control de las condensaciones.

Por tanto, la calidad de la envolvente térmica se evalúa mediante tres parámetros que corresponden a las tres formas de transmisión del calor:



Ilustración 3.1. Transmisión de calor. Fuente: Guía de aplicación DB-HE 2019.

- Convección: es la transferencia de calor por el movimiento de fluidos. Es la forma dominante de transmisión de calor en líquidos y gases. La convección puede ser “forzada” por el movimiento de un fluido debido a una diferencia de presión producida mecánicamente (una bomba de agua), o convección natural, cuando solamente intervienen las fuerzas de flotabilidad naturales (el aire caliente que asciende por ser menos denso).
- Conducción: forma de transferencia basada en el contacto directo entre cuerpos, sin intercambio de materia, fluyendo el calor desde el cuerpo de mayor temperatura a otro con menor temperatura. El calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor.
- Radiación: es la energía que emite un cuerpo debido a su temperatura. Es radiación electromagnética, generada por el movimiento térmico de las partículas cargadas existentes en la materia. Todo cuerpo a mayor temperatura del cero absoluto emiten ondas electromagnéticas, siendo la intensidad de estas dependientes de la temperatura y la longitud de onda considerada.

### 3.3. DB-HE2 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

En esta sección se establecen las características que deben disponer las instalaciones térmicas de los edificios, de tal forma que cumplan con las exigencias de eficiencia energética y bienestar térmico. Los sistemas de climatización que requiera el edificio para lograr estos estándares de salubridad deberán atender a las exigencias desarrolladas actualmente en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE):

1. Deberá garantizar unas condiciones de bienestar e higiene tales como:



- Una calidad térmica del ambiente
- Una calidad del aire interior
- Unas condiciones mínimas para la preparación del agua caliente

## 2. Eficiencia energética

- Equipos de climatización de alta eficiencia energética
- Instalación de sistemas de regulación, contabilización y reparto
- Instalación de recuperadores de energía
- Instalación de energías renovables

### 3.4. DB-HE3 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

En esta sección se busca un uso eficiente de las diferentes instalaciones de iluminación sin renunciar al confort lumínico.

Las exigencias impuestas en esta sección se aplican a las instalaciones de iluminación interiores.

Se establecen 4 condiciones para cumplir con esta sección:

1. Valores de eficiencia energética de la instalación (VEEI)
2. Potencia máxima instalada
3. Sistemas de control y regulación
4. Sistemas de aprovechamiento de luz natural

En el presente proyecto no se realizará su estudio.

### 3.5. DB-HE4 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

En esta sección se establece la exigencia de satisfacer, en caso de edificios de uso residencial, un 60% de la demanda de ACS y/o de climatización de piscinas mediante el uso de energías renovables.

La demanda de ACS y climatización de piscinas incluye las pérdidas térmicas debidas a distribución, acumulación y recirculación, y sólo se considera aportación renovable a la energía con origen in situ (fotovoltaica, solar térmica...) o en las proximidades del edificio (biomasa sólida, electricidad generada en las proximidades...)

Para que el uso de bombas de calor destinadas a la producción de ACS y/o climatización de una piscina sea considerada como renovable, deberá tener como mínimo las siguientes características:

- Funcionamiento eléctrico: SCOP= 2.5
- Funcionamiento térmico: SCOP= 1.15



### **3.6. DB-HE5 GENERACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

En esta sección se establecen criterios referentes a la producción de energía eléctrica de origen renovables.

Esta sección es de obligado cumplimiento para edificios de uso distinto al residencial privado. Sin embargo, sí que puede afectar a los edificios de uso residencial privado para cumplir con la limitación de energía establecida por el DB-HE0.



## **4. REDUCCIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA**

Como se mencionó previamente, una de las medidas de mayor relevancia en el dimensionamiento es la reducción de la demanda energética del edificio, mediante un adecuado diseño de la envolvente térmica de este.

En el presente capítulo se expondrá las diferentes medidas tomadas en el proyecto destinadas a tal fin.

### **4.1. ENVOLVENTE TÉRMICA**

Puede definirse como el conjunto de fachadas, cubiertas, suelos y otras particiones del edificio que están en contacto con el exterior. Los materiales que la forman intercambian energía entre el interior y el exterior.

La energía que gana o pierde un edificio a través de la envolvente es el resultado del balance entre la radiación solar incidente en la parte exterior, las filtraciones de aire a través de puertas, ventanas y otros elementos y, sobre todo, del intercambio de calor a través de los diferentes elementos estructurales mediante conducción, convección y radiación.

En cuanto a la descripción del concepto de ganancias o pérdidas a través de la envolvente térmica hay que diferenciar dos situaciones opuestas:

- **Ciclo de invierno:** el período invernal corresponde con el funcionamiento de sistemas de calefacción. Durante este ciclo, las temperaturas exteriores se pretenden inferiores a las interiores.  
Las pérdidas térmicas se producen por el calentamiento de la pared interior del edificio que transmiten por conducción el flujo de calor hacia el exterior, donde es emitido al medio ambiente por radiación infrarroja. El sistema de calefacción debe reponer estas pérdidas, que son proporcionales al salto térmico existente entre el interior y el exterior.  
Además, en este período, la radiación solar es menor que en otros, por lo que la ganancia solar a través de la envolvente no compensa las pérdidas.
- **Ciclo de verano:** este período corresponde con el funcionamiento de sistemas de aire acondicionado. Durante este ciclo, las temperaturas exteriores se pretenden superiores a las interiores.  
Al contrario que ocurre durante el ciclo de invierno, durante este ciclo se experimentan ganancias indeseables a través de la envolvente del edificio.  
Además, durante este período, la radiación solar es máxima y el aire tiene una carga entálpica superior a la necesaria para el bienestar térmico.

Citando el Código Técnico de la Edificación: “Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de

aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos”.

A su vez, el Código Técnico de la Edificación diferencia entre dos tipos de espacios:

- Espacio habitable: espacios interiores destinados a la actividad humana, cuyo tiempo de estancia y densidad de ocupación exigen unas condiciones térmicas, acústicas y de salubridad adecuadas.
- Espacio no habitable: espacios interiores no destinados a un uso u ocupación prolongado, siendo solo necesario cumplir unas condiciones de salubridad adecuadas.

La definición de la envolvente térmica del edificio engloba todos los cerramientos de este, sin embargo, a efectos de cálculo de demanda energética se considera parte de esta todos los cerramientos que limitan el edificio con el exterior y aquellas particiones interiores que separan los espacios habitables de los no habitables.

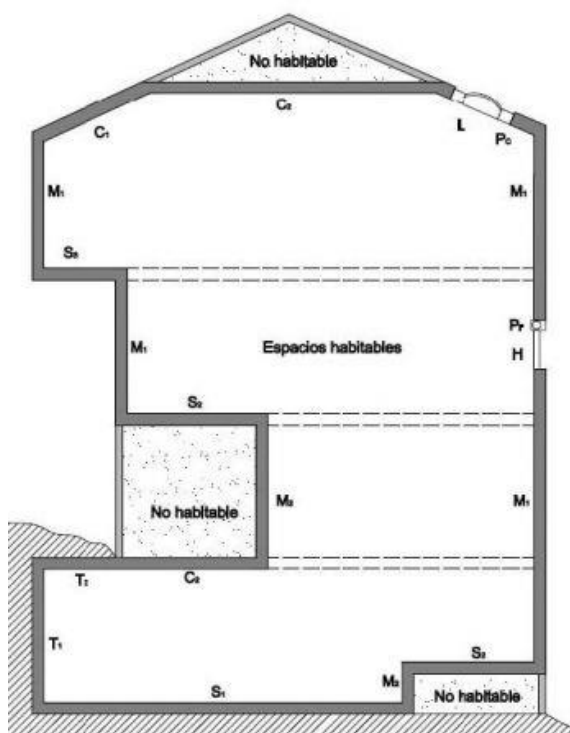


Ilustración 4.1. Espacios habitables. Fuente: Código técnico de la edificación

#### 4.1.1. Transmitancia térmica

La transmitancia térmica (U) es uno de los conceptos con mayor relevancia a la hora de aislar bien un edificio. La transmitancia térmica puede definirse como la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie entre un sistema constructivo, formado por





una o más capas de material, que separa dos espacios con una diferencia de temperatura de, al menos, un grado centígrado.

Al diseñar la envolvente térmica de un edificio se debe tener especial cuidado en cada uno de los elementos que lo componen, ya que cada una de las capas que lo componen presentan unas cualidades específicas que determinan su comportamiento térmico.

En el sistema internacional se expresa en unidades  $\frac{W}{m^2K}$  o  $\frac{W}{m^2^{\circ}C}$  y dependen directamente de las diferentes resistencias térmicas de los materiales:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_i + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_e}$$

Donde,

$R_t$  = Resistencia térmica total ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$R_i$  = Resistencia térmica interior ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$R_j$  = Resistencia térmica de las capas que conforman la estructura ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$R_e$  = Resistencia térmica exterior ( $\frac{m^2K}{W}$ )

#### 4.1.1.1. Resistencia térmica

Es una propiedad que indica la capacidad que posee un material para oponerse a una transferencia de temperatura, es decir, a mayor valor de resistencia térmica, mejor aislante será dicho material. Se trata del inverso de la conductancia térmica.

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{1}{U}$$

#### 4.1.1.2. Conductividad térmica

Es una propiedad de los materiales que indica la capacidad de un material para transferir calor, a mayor conductividad térmica mejor transmitirá el calor dicho material. Es una magnitud intensiva, es decir, no depende de la cantidad de masa que tenga. En el sistema internacional se mide en  $\frac{W}{mK}$ :

$$\lambda = \frac{q}{\Delta T}$$

Donde,

$q$  = es el flujo de temperatura ( $\frac{W}{m^2}$ )

$\Delta T =$  gradiente de temperatura ( $\frac{K}{m}$ )

#### 4.1.2. Tipos de aislamiento

Los materiales de aislamiento pueden ser colocados por el interior o por el exterior de la fachada. A continuación, se muestran las principales diferencias de ambas opciones [6]:

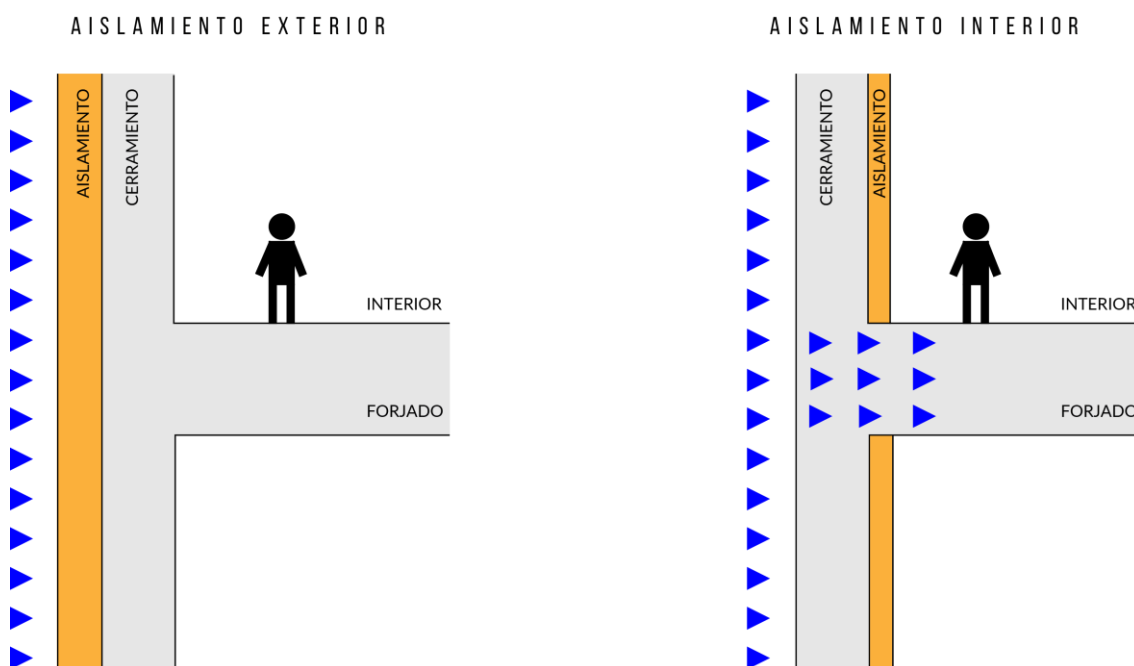


Ilustración 4.2. Diferencia entre aislamientos. Fuente: [www.rehabilitaciónenergética.com](http://www.rehabilitaciónenergética.com)

- Eliminación de puentes térmicos: aislar térmicamente por el interior no aísla de forma eficiente el cerramiento del edificio, generando con ello puentes térmicos. Estos puntos corresponden con forjados, pilares, vigas...  
Dichos puntos se evitan mediante el aislamiento por el exterior, ya que proporciona un aislamiento uniforme en toda la fachada.
- Transmitancia térmica: la realización del aislamiento por el exterior introduce un valor uniforme de transmitancia térmica, simplificando los cálculos a realizar, ya que no habría que diferenciar por zonas y permite ajustar fácilmente el espesor del material.
- Inercia térmica: la inercia térmica es la capacidad que posee un material de almacenar calor (energía). Dicha capacidad depende de la densidad, la masa y el calor específico de los materiales.  
Los cerramientos con mucha inercia térmica actúan como colchones protectores de las fluctuaciones de temperatura exteriores, es decir, los edificios de gran inercia térmica tienen variaciones térmicas más suaves, liberando por la noche todo el calor almacenado durante el día.

El sistema de aislamiento térmico por el exterior consigue dicho efecto, consiguiendo una temperatura constante durante el día.

El sistema de aislamiento térmico por el interior produce el efecto contrario, la energía que proviene de la radiación solar provocará un aumento rápido de la temperatura y, posteriormente, su enfriamiento, provocando grandes fluctuaciones de temperatura.

- Protección y durabilidad: los sistemas de aislamiento térmico exterior son impermeables al agua y permeables al vapor de agua, evitando así las condensaciones. Además, requiere muy poco mantenimiento y le proporciona a la fachada resistencia a los rayos U.V. gracias a los revocos posteriores.

El sistema de aislamiento por el interior no le proporciona a la fachada ningún beneficio, quedando el cerramiento expuesto a la intemperie, a las fluctuaciones de temperatura y a la radiación solar, reduciendo su durabilidad. Además, los acabados monocapa habituales en este tipo de aislamientos no son impermeables, absorbiendo gran parte del agua de lluvia y requiriendo mucho tiempo para secarse, favoreciendo con ello la aparición de fisuras o grietas, repercutiendo a largo plazo en la seguridad estructural del edificio.

Por tanto, la solución a escoger en la mayoría de las ocasiones es el aislamiento térmico por el exterior, recurriendo al aislamiento interior en casos muy concretos, por ejemplo, en caso de querer aislar una vivienda de un bloque.

#### 4.1.2.1. Diferentes sistemas de aislamiento por el exterior

##### Sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE):

Debido a su relación calidad/precio, es el sistema más utilizado. Consiste en fijar al muro planchas rígidas del material aislante, fijadas colocadas mediante adhesivos o fijación mecánica y posteriormente protegidas por una o varias capas y con un revoco o aplacado fijado al muro.

Utiliza diferentes tipos de aislantes, entre los que destacan los paneles rígidos de poliestireno extruido (XPS), poliestireno expandido (EPS) y lanas minerales. Puede aplicarse sobre cualquier fachada, proporcionándole un incremento muy pequeño del espesor [7].

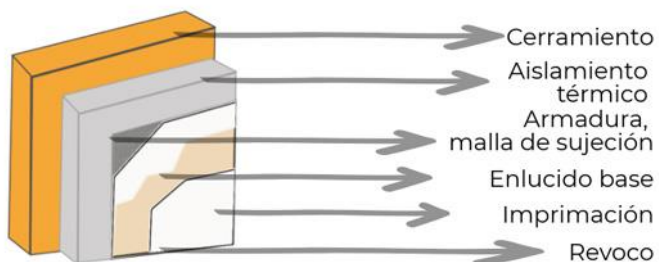


Ilustración 4.3. Sistema SATE. Fuente: [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com)

#### Fachadas ventiladas:

Es un sistema de revestimiento que consiste en una cámara ventilada entre la capa de aislamiento y el revestimiento exterior, eliminando puentes térmicos y problemas de condensación.

Debido al calentamiento de la capa exterior se produce el “efecto chimenea”. La densidad del aire es diferente respecto a la del exterior, produciendo un movimiento ascendente mediante convección natural, debido a la diferencia de temperatura. En invierno, este efecto calienta el aire entre las capas, consiguiendo que la estancia interior tenga una mayor temperatura, mientras que en verano la fachada del edificio no recibe la radiación solar, por lo que se calienta mucho menos.

En este tipo de aislamiento suelen utilizarse lanas minerales o espuma de poliuretano. Además, se trata de un sistema desmontable y puede ser aplicado sobre cualquier fachada, sin embargo, se incrementa en hasta 30 cm el espesor de esta [8].

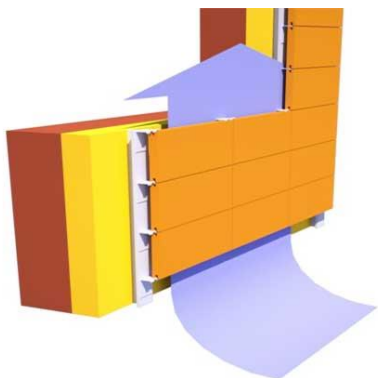


Ilustración 4.4. Fachada ventilada. Fuente: [www.siberzone.es](http://www.siberzone.es)

#### Sistema de aislante proyectado:

Consiste en aplicar una capa de espuma de poliuretano a la fachada del edificio.

Es habitual encontrarlo aplicado en fachadas medianeras en derribos, o bien como aislante interior.

Se trata de un método económico y rápido, que proporciona un buen aislamiento tanto acústico como térmico, sin embargo, es un sistema muy poco estético y las zonas a pie de calle requieren protección.



Ilustración 4.5. Aislante proyectado. Fuente: [www.taraspol.es](http://www.taraspol.es)

#### Inyección de aislante en cámaras de aire:

Se utiliza para aislar fachadas de doble hoja, mediante la inyección de aislante, normalmente poliuretano o lana mineral, en la cámara de aire existente entre ambas.

Se trata de un sistema rápido y fácil de realizar, sin embargo, no garantiza la impermeabilización del cerramiento y su eficacia depende del buen estado de la cámara de aire.

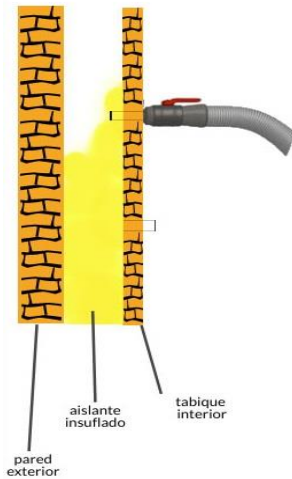


Ilustración 4.6. Aislante inyectado. Fuente: [www.caloryfrio.com](http://www.caloryfrio.com)

#### 4.1.2.2. Principales materiales usados en aislamientos

Dependiendo del tipo de material, se tendrá una mayor o menor transmitancia térmica, siendo los principales:

##### Los poliestirenos:

Los poliestirenos son un plástico duro y sólido, se fabrica en material espumoso, denominado poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS), valorado por sus propiedades de aislamiento y acolchado:

- Poliestireno extruido (XPS): aislante duradero, con una alta resistencia al agua y elevadas prestaciones mecánicas, gracias a las cuales suele ser utilizado en las partes inferiores de los edificios, que cuentan con una mayor probabilidad de impactos. Además de funcionar como aislante térmico, protege la lámina impermeable sobre la que va situado, mejorando la durabilidad de esta. Este material posee una conductividad térmica de entre 0,029 y 0,036  $\frac{W}{mK}$ .
- Poliestireno expandido: material usado como aislante térmico y de aligeramiento. Su composición es idéntica al poliestireno extruido, diferenciándose únicamente en el proceso de conformación, resultando este en un material menos denso, con una menor resistencia mecánica y permeable. Debido a su relación precio/conductividad térmica,



es el más utilizado en los aislamientos, ya sea interiores o exteriores. Posee una conductividad térmica de 0,034 y 0,045  $\frac{W}{mK}$ .

#### Lanas minerales:

Es un producto natural, formado con arena silíceo para la lana de vidrio, y con roca basáltica para la lana de roca. Se trata de un material flexible, ignífugo, con un buen aislamiento tanto térmico como acústico, siendo mejores que los poliestirenos en este último tipo, siendo una mejor opción en caso de que exista contaminación acústica. Son fáciles de colocar y muy económicos:

- Lana de roca: compuestos en un 98% por basalto y un 2% de ligante orgánico. Los productos de este material no retienen el agua, ofrecen una fuerte permeabilidad al vapor de agua y, además, gracias a su disposición multidireccional, aporta a los elementos constructivos un alto nivel de aislamiento acústico. Posee una conductividad térmica entre 0,033 y 0,040  $\frac{W}{mK}$ .
- Lana de vidrio: compuestos principalmente por arena de sílice, carbonato de calcio y magnesio, que le confiere resistencia a la humedad, y presenta un mayor aislamiento acústico que la lana de roca. Posee una conductividad térmica de 0,032 y 0,044  $\frac{W}{mK}$ .

#### Poliuretano:

Es un material plástico, que se puede aplicar en forma de planchas, proyectado o inyectado, normalmente se aplica proyectado debido a la rapidez y facilidad de este método. Cuenta con un alto grado de aislamiento térmico, lo que le permite igualar a las anteriores opciones con un menor espesor. Sin embargo, este material es vulnerable a los rayos ultravioleta, por lo que requiere de un tratamiento tras su aplicación, y el precio en relación con los anteriores puede resultar elevado. Posee una conductividad térmica de 0,022 y 0,028  $\frac{W}{mK}$ .

### **4.1.3. Ventanas**

Las ventanas constituyen unos de los puentes térmicos más importantes a cubrir. El aislamiento de estas depende tanto del tipo de ventana que queramos a instalar, como del material.

Principales tipos de materiales de ventanas:

#### Ventana de PVC:

Las ventanas de PVC (Policloruro de vinilo) presentan un buen aislante tanto térmico como acústico. Además, presenta una gran resistencia a la humedad y a la condensación.



En caso de estar sometidas a fuertes presiones debidas al viento, deberán ser sometidas a tratamientos para reforzar su rigidez, de forma que se garantice su indeformabilidad.

Apenas necesitan mantenimiento y no es inflamable. Son las más usadas debido a su relación calidad/precio.

Posee un coeficiente de conductividad térmica de  $0,16 \frac{W}{mK}$ .

#### Ventana de aluminio:

Estas ventanas, al tratarse de un material metálico es muy buen transmisor de la temperatura, es decir, es poco aislante y crea un puente térmico, por lo que es necesario lo que comúnmente se denomina como “rotura de puente térmico”. Esto consiste en la separación de la parte exterior del perfil de la ventana con respecto de la interior, mediante la inserción de un material separador colocado entre ambas. Aun así, no es capaz de igualar el aislamiento térmico de las de PVC.

Son las más económicas y no se deterioran con la humedad y el calor.

Posee un coeficiente de conductividad térmica de  $209 \frac{W}{mK}$ .

#### Ventana de madera:

La madera presenta un buen aislamiento térmico, utilizada por su acabado en construcciones de estilos tradicionales o rústicos.

Sin embargo, presenta varios inconvenientes, entre los que destacan un precio más elevado que los anteriores, es un material inflamable y requiere un continuo y costoso mantenimiento, entre otros.

Posee un coeficiente de conductividad térmica de  $0,21 \frac{W}{mK}$ .

#### *4.1.3.1. Vidrios*

La elección de un correcto acristalamiento proporciona unos considerables beneficios en cuanto al aislamiento térmico, y ayudan a reducir la humedad y la condensación.

El aislamiento de los vidrios se puede mejorar mediante el grosor de estos, aunque normalmente son de 4 mm, y la disposición de una cámara de aire entre dos vidrios, denominado doble acristalamiento. Esta cámara de aire normalmente cuenta con espesores de 6/8/10/12/16 mm.

En caso necesario, dicha cámara de aire puede ser rellenada por un gas, normalmente argón, para mejorar aún más el aislamiento.



También se podría optar por un triple acristalamiento (o doble cámara de aire), lo que conllevaría a un aumento del grosor de la carpintería y, por ende, del coste económico, pero en el caso del clima español no es necesario recurrir a ello.

Además, los vidrios pueden llevar diferentes tratamientos que les confieran un mayor aislamiento, siendo los principales [11]:

- Los vidrios bajo emisivos tienen la capacidad de reflejar la energía solar, evitando que buena parte de ella entre en la vivienda.



Ilustración 4.7. Transmisión vidrios. Fuente: [www.onventanas.com](http://www.onventanas.com)

- Vidrios de bajo factor solar: disminuyen la incidencia de los rayos solares, pero permiten el paso de luz.
- Vidrios selectivos: combinan las prestaciones de los dos anteriores. Están tratados mediante una sucesión de capas con la capacidad de filtrar los rayos del sol de forma selectiva según la longitud de onda. Consiguen reflejar gran parte de la energía calorífica sin apenas obstruir el paso de la luz solar.

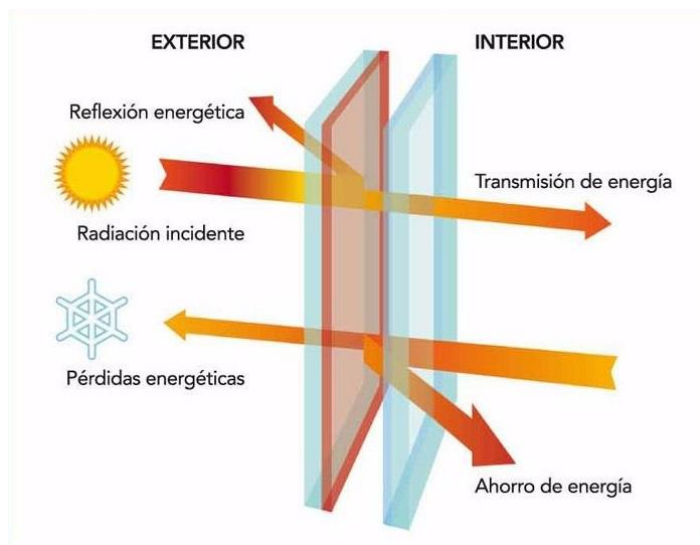


Ilustración 4.8. Vidrio bajo emisivo. Fuente: [www.onventanas.com](http://www.onventanas.com)



#### 4.1.4. Diseño bioclimático

Se debe tener en cuenta la climatología de la zona para escoger la forma adecuada de la distribución del edificio, la formación de sombras, la forma de la cubierta...

##### 4.1.4.1. Geometría del edificio y su distribución

Dependiendo de la funcionalidad de las estancias, una correcta distribución y orientación de estas pueden contribuir a un ahorro significativo de la energía necesaria para climatizarlas.

En nuestra latitud, lo habitual es situar las estancias principales al sur, siendo el oeste la dirección menos aconsejada, y se debe limitar el acristalamiento hacia el norte, debido a que es la orientación más fría [12].

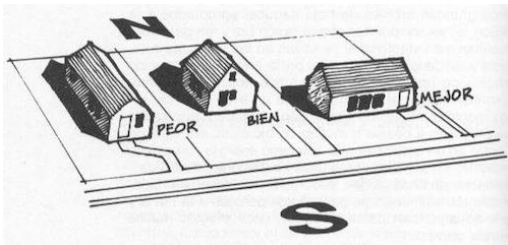


Ilustración 4.9. Orientación vivienda. Fuente: [www.blog.securibath.com](http://www.blog.securibath.com)

##### 4.1.4.2. Iluminación natural

Las dimensiones de los huecos serán las necesarias para garantizar una iluminación adecuada natural, debiendo tener en cuenta la orientación de estos.

Los huecos de mayores dimensiones dispuestos en áreas soleadas durante las épocas cálidas incrementarán la temperatura de estas zonas y, por ende, la demanda de energía de refrigeración, del mismo modo, huecos de pequeñas dimensiones en áreas soleadas durante las épocas frías no dejará pasar suficiente radiación solar e incrementará la demanda en calefacción.

La disposición de aleros tanto fijos como móviles, correctamente dimensionados, permitirá un control de las ganancias de energía solar durante las diferentes estaciones del año [13].



Ilustración 4.10. Protección solar. Fuente: [www.arquitectoscantabria.es](http://www.arquitectoscantabria.es)

#### 4.1.5. Ventilación con recuperación de calor

Debido a que el objetivo del edificio es lograr el mayor aislamiento posible, para garantizar la salubridad del aire es necesario recurrir a una ventilación mecánica, siendo habitual que incorpore un sistema de recuperación de calor que ayude en la climatización.

Un sistema de ventilación mecánica de doble flujo consiste en un intercambiador de calor. Mientras un ventilador introduce aire del exterior a la vivienda otro lo extrae. Si además se incorpora un recuperador de calor al sistema, permite un intercambiando de calor entre ambas corrientes para su aprovechamiento.

Es decir, el recuperador de calor permite un pre-tratamiento de la temperatura del aire que entra, de modo que se reduce el salto térmico entre el ambiente interior y exterior de la vivienda y con ello se reduce la potencia necesaria del equipo de climatización.

Este sistema permite en los meses fríos calentar el aire que se introduce utilizando la temperatura del aire que se expulsa de la vivienda, mientras que en verano ayuda a refrigerar el aire introducido o, si las condiciones son favorables (el aire exterior está a menor temperatura que el aire interior), el sistema deja entrar el aire directamente a través de un by-pass. Es lo que se conoce como ventilación nocturna o free-cooling [14].

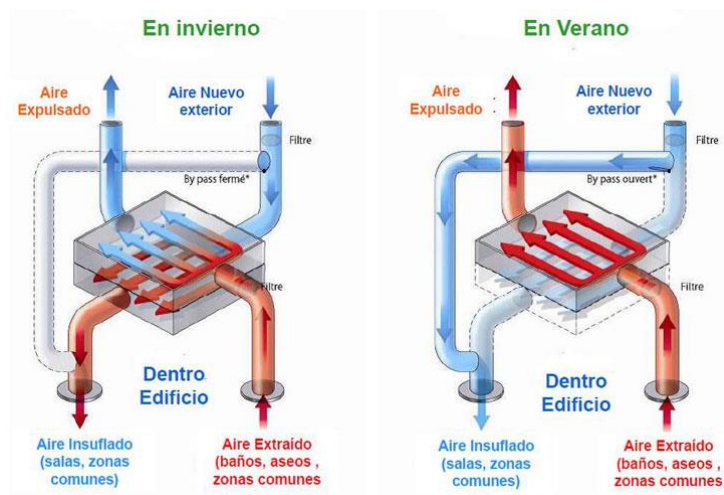


Ilustración 4.11. Ventilación mecánica. Fuente: [www.arrevol.com](http://www.arrevol.com)



## 5. REDUCCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

En este capítulo se exponen las diferentes medidas tomadas en el proyecto con la finalidad de reducir el consumo energético del edificio.

### 5.1. CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS

Como se mostró previamente, uno de los mayores consumos que se producen en los edificios corresponden con la climatización y la producción de agua caliente sanitaria. Además de contar con mejores aislamientos, para lograr la mayor reducción posible de este consumo, se debe recurrir a sistemas eficientes de climatización.

#### 5.1.1. Bomba de calor aerotérmica

El término “aerotermia” se utiliza para referirse a la extracción de la energía (calor) presente en el aire ambiente, proveniente fundamentalmente del Sol, por lo que se puede considerar como un tipo de energía renovable, ya que no depende de recursos agotables y se renueva de forma continua.

Los equipos de aerotermia hacen uso de la bomba de calor para lograr esta extracción del calor ambiente, pudiendo ser el aire (aerotermia), el agua (hidrotermia) y la tierra (geotermia). En España hay instaladas más de 12 millones de bombas de calor [15].

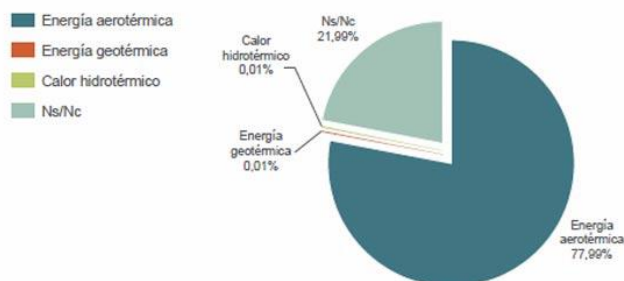


Gráfico 5.1. Bombas de calor en España. Fuente: IDAE

Como elemento generador de calor se recurrirá al uso de la bomba de calor aerotérmica, debido a que es una de las opciones más eficientes cuando se trata de climatología templada.

Las bombas de calor utilizadas para en los equipos de aerotermia son de dos tipos, dependiendo de a donde ceden el calor extraído:

- Tipo aire-aire: el calor extraído se transfiere al aire ambiente.
- Tipo aire-agua: el calor extraído se transfiere a un circuito de agua, donde puede ser aprovechado para la climatización mediante suelo radiante, radiadores o fan-coil, y la producción de agua caliente sanitaria.

En este caso, se usará una bomba de calor del tipo aire-agua tanto para climatizar como para la producción de agua caliente sanitaria.

Este sistema se compone de dos unidades, una unidad exterior, con todos los elementos necesarios para absorber la energía del aire ambiente, y una unidad interior.

La unidad exterior contiene los siguientes elementos: un compresor con tecnología inverter, la cual permite regular la velocidad del compresor, válvulas de expansión, válvulas de cuatro vías para configurar su funcionamiento reversible, un intercambiador de aletas de alto rendimiento aire-agua, que funcionará como evaporador o condensador dependiendo del modo de la bomba de calor (calefacción o refrigeración) por donde circula el refrigerante absorbiendo o cediendo temperatura, y otro intercambiador aislado del exterior, donde el refrigerante que circula por este circuito cede o absorbe el calor del agua del circuito primario del interior de las estancias a climatizar.

El funcionamiento básico de una bomba aire-agua en modo calefacción es el siguiente:

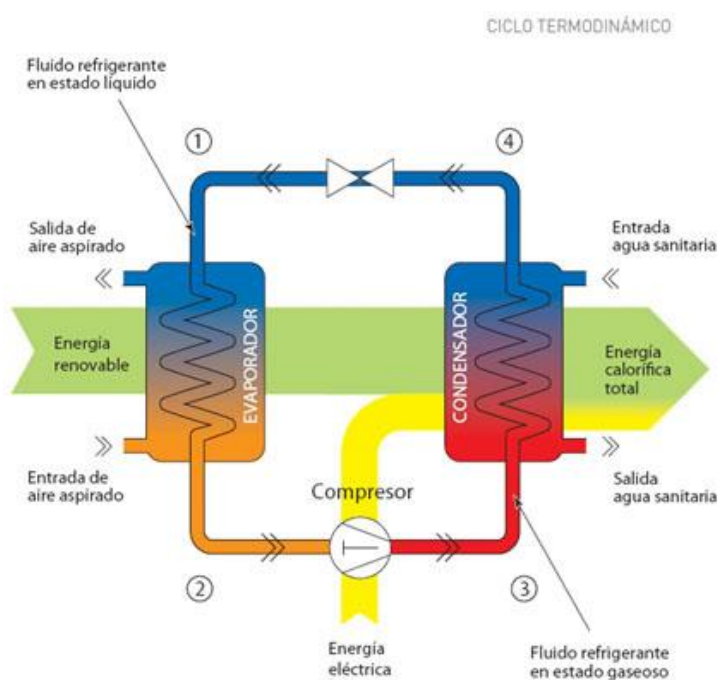


Ilustración.5.1. Bomba de calor. Fuente: IDAE

1. El fluido refrigerante se encuentra a baja temperatura y presión, por tanto, se encuentra en estado líquido. El aire exterior es aspirado por el evaporador, donde se produce el primer intercambio de temperatura. A través de este intercambio, el refrigerante inicialmente frío evapora.
2. El fluido refrigerante llega a este paso en forma de vapor, pero a baja presión. Pasándolo por el compresor se aumenta su presión, con el consiguiente aumento de temperatura.

3. En este paso, el vapor se encuentra en un valor elevado de energía (entalpía). Este vapor es circulado por el condensador, donde se produce el segundo intercambio de temperatura, volviendo así a estado líquido.
4. El fluido refrigerante en estado líquido se pasa por una válvula de expansión para recuperar sus condiciones iniciales de baja presión y temperatura, y lo devuelve al evaporador para reiniciar el proceso.

En resumen, en modo calefacción las bombas de calor aire-agua toman el calor del aire exterior y lo transfieren a un circuito de agua, que puede ser distribuido a radiadores, suelo radiante...

En modo refrigeración el intercambiador interior absorbe el calor del ambiente en el agua y el intercambiador exterior cede el calor del agua al aire ambiente.

### 5.1.2. Suelo radiante

El suelo radiante constituye uno de los sistemas de climatización más confortables y con mayor eficiencia energética del mercado. Es un sistema que destaca por su rendimiento, versatilidad y nulo impacto visual.

Su rendimiento se basa en que no trabaja a temperaturas tan elevadas como los sistemas clásicos debido a que ocupa una gran superficie, repercutiendo de forma directa en un ahorro energético y reducción de CO<sub>2</sub> para conseguir las mismas condiciones ambientales que los demás sistemas.

Su funcionamiento consiste en la impulsión de agua a media temperatura a través de un circuito de tuberías plásticas, fabricadas principalmente en polietileno. El calor emitido por las tuberías es absorbido en el suelo y, posteriormente, emitido a la estancia en forma de energía radiante (en torno al 70%) y, en menor medida, energía convectiva.

El circuito irá dispuesto sobre el aislante térmico del suelo y quedará cubierto por una capa de mortero de cemento, sobre la que se colocará el pavimento final.

Antes del montaje del aislamiento base, es recomendable colocar una lámina de plástico, normalmente polietileno, para que actúe como barrera. De esta forma, se impide que el aislante absorba humedad, originada por la condensación que pudiese existir en su cara fría [16].

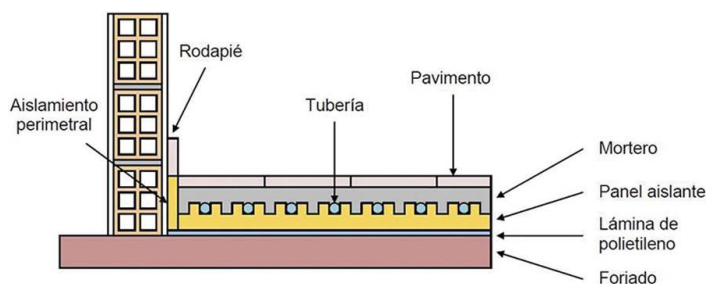


Ilustración 5.2. Sección suelo radiante. Fuente: [www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com)

Para conseguir homogeneidad de temperatura en la superficie se utilizan 3 formas básicas de disposición de los tubos en el suelo, pudiendo variarse en mayor o menos medida en función de la geometría de la vivienda:

- Distribución en serpentín simple: es la distribución más sencilla. Consiste en disponer el tubo a lo largo de la habitación en líneas paralelas equidistantes. A medida que el agua avanza por el serpentín, ésta cede parte de su calor, de tal manera que, al finalizar el recorrido, el agua está a menor temperatura que cuando lo inició. No es muy utilizado debido al salto térmico que conlleva.

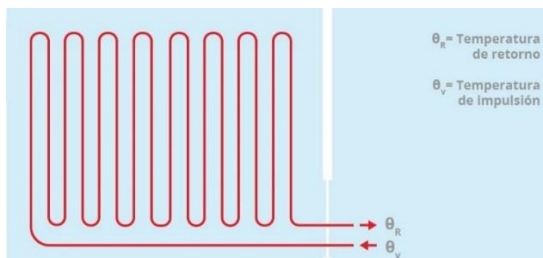


Ilustración 5.3. Serpentín simple. Fuente: [www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com)

- Distribución en serpentín doble: esta distribución es recomendable en zonas de geometría compleja. Consiste en la colocación de dos serpentines intercalados uno con otro, de tal forma que al lado de una tubería de ida irá otra de vuelta. De esta forma, quedan dos tubos paralelos con fluido de ida, y otros dos tubos paralelos con fluido de vuelta. Puede dar como resultado franjas de suelo con un salto térmico apreciable.

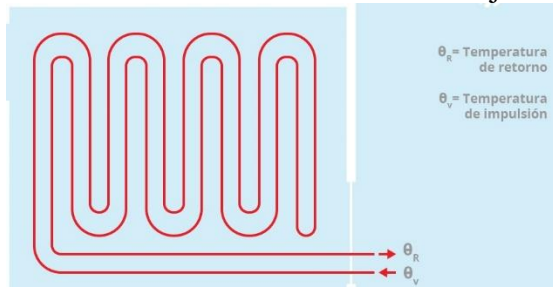


Ilustración 5.4. Serpentín doble. Fuente: [www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com)

- Distribución en espiral: esta distribución es adecuada para grandes superficies y/o con gran demanda de calor. Se suele usar en zonas de geometría sencilla. Consiste en realizar una espiral de forma cuadrada o rectangular. Se comienza por una espiral exterior y se van disponiendo líneas de tubo de dentro a fuera, dejando espacio para el retorno entre línea y línea. Mediante esta colocación, el calor está mejor repartido, ya que van paralelos un tubo frío con otro caliente. Es el sistema más idóneo de instalar.

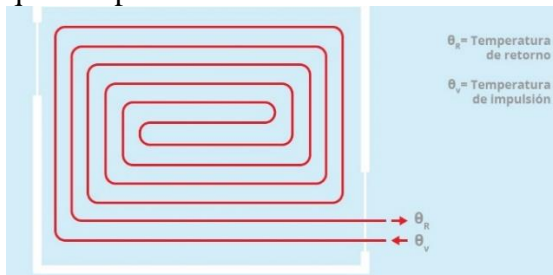


Ilustración 5.5. Serpentín espiral. Fuente: [www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com)



#### 5.1.2.1. Colectores

Los colectores son elementos usados en la distribución y control del fluido.

Para cada estancia a calentar será necesario un colector de impulsión y otro de retorno.

Los colectores de ida llevan incorporados caudalímetros, que permiten medir el volumen de agua por unidad de tiempo, y válvulas de regulación, que indican el caudal que circula por un circuito. El colector de retorno incorpora válvulas de corte.

Además, los usados para suelo radiante cuentan con purgadores, grifos de vaciado y termómetros.

Deberá instalarse más alto que los circuitos que alimenta y a mínimo 30 centímetros por encima de los circuitos emisores, para permitir un radio de curvatura adecuado para el tubo de plástico y facilitando el proceso de purgado.



Ilustración 5.6. Colector. Fuente: [www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com)

#### 5.1.2.2. Sistema de regulación y control

Para un correcto funcionamiento del sistema, tanto en confort térmico, como eficiencia energética, se requiere de un sistema de regulación.

Se distinguen dos tipos de sistemas de regulación:

- Sistema de regulación y control en función de la temperatura interior: este sistema se basa en las variaciones de la temperatura interior del edificio, cuando ésta se establece por encima o debajo de un valor ajustado en el termostato, el sistema permitirá o no el paso del agua por el circuito, en función de si queremos refrigerar o calefactar la estancia.
- Sistema de regulación y control en función de la temperatura exterior: este sistema se basa en mantener una temperatura, previamente fijada, en el fluido del interior de los tubos en función de la temperatura exterior, captada por una sonda colocada en la cara norte (la más fría) de la vivienda.

### 5.1.3. Acumulador

Un acumulador es un depósito con aislante térmico, que almacena el agua a la temperatura necesaria para cubrir las demandas puntas de agua caliente sanitaria.

Se diferencian dos tipos principales de acumuladores:

- Acumuladores puros: simplemente almacenan agua caliente sanitaria y están provistos de un intercambiador externo.
- Interacumuladores: además de almacenar agua, cuentan con el elemento de intercambio en su interior. Dicho intercambiador puede ser mediante un haz tubular, un serpentín o un sistema de acumulación de doble tanque. Estos últimos son los más eficientes, sin embargo, tan solo acumulan la mitad de agua en comparación a los otros sistemas.

Por tanto, la instalación de climatización se compondrá de: una bomba de calor aerotérmica, una instalación de suelo radiante, un sistema de regulación y control y un acumulador de agua.

Esquemáticamente quedaría representada de la siguiente forma [17]:



Ilustración 5.7. Instalación climatización. Fuente: [www.ovacen.com](http://www.ovacen.com)

## 5.2. PANELES FOTOVOLTAICOS

El CTE establece un límite en el consumo de energía no renovable, aunque, como se comprobará posteriormente, la vivienda del presente proyecto no requiere de una instalación solar fotovoltaica para cumplir con dicho límite.

Sin embargo, se propondrán dos tipos de instalaciones diferentes debido al gran auge que está experimentando esta tecnología, tanto en rendimientos de su producción, permitiendo reducir su precio, como en rendimientos de generación de electricidad, haciendo que estas instalaciones sean cada vez más fáciles de amortizar.

Los sistemas fotovoltaicos se basan en el efecto fotoeléctrico. Dicho efecto es el que permite la obtención de energía eléctrica mediante la luz solar. Tiene lugar en las células



fotoeléctricas, que son la unidad básica que conforman los paneles fotovoltaicos. Cuando los fotones presentes en la radiación solar inciden sobre estas células, la energía de este se transfiere a los átomos que conforman la célula fotovoltaica. Debido a esta transferencia de energía, los electrones situados en las capas más externas se excitan y salen de su órbita, quedando libre del átomo y, por tanto, pudiendo viajar a través del material.

Este efecto se producirá siempre que la energía del fotón sea superior a 1,2 eV, que es equivalente a  $1,922 \times 10^{-19} \text{ J}$  [18].

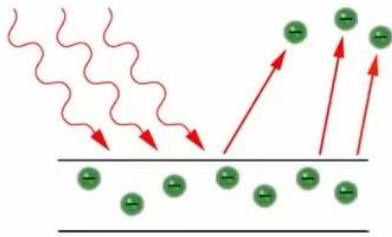


Ilustración 5.8. Efecto fotoeléctrico. Fuente: [www.solar-energia.net](http://www.solar-energia.net)

Cada electrón desprendido del átomo deja su hueco libre que puede ser ocupado. En este momento se genera lo que se conoce como cargas eléctricas.

Estas cargas, siempre que se produzcan de forma ininterrumpida, pueden ser extraídas del material. Para que esto suceda, es necesario que exista un campo eléctrico de polaridad constante, de forma que polarice las partículas e impulsa a los electrones en un sentido y, los huecos que se crean, en el opuesto.

En las células solares tradicionales, el campo eléctrico se debe a una unión de dos zonas diferenciadas, una con carga negativa debido a un exceso de electrones, y otra con carga positiva debido a la ausencia de estos. De este modo, cuando se libera un electrón se impulsa a través del material hasta que llega a los conductos de plata, de baja resistividad.

No obstante, no todos los fotones se transforman en electricidad. Algunos fotones, tras atravesar el material, pierden una cierta cantidad de energía cinética. Esta pérdida de energía implica que el fotón no posea la energía necesaria para separar el electrón. Estas pérdidas dependen de las características del material y son inevitables.

Además, existe un porcentaje de fotones que atraviesan la lámina de semiconductor sin alcanzar ningún electrón y otros que iluminan la superficie del material tras ser reflejado por este. Estas últimas pueden reducirse a través de revestimientos antirreflexión de la superficie de la célula fotovoltaica.

Es decir, el efecto fotoeléctrico se producirá sólo cuando un fotón que es capaz de aportar energía cinética suficiente entre en contacto, tras atravesar el material, con un electrón de valencia.



### 5.2.1. Clasificación de células solares

En función de la tecnología usada, las células solares se dividen en los siguientes grupos:

#### Película delgada:

Estas células se conforman a partir de una película delgada, que es la encargada de la transformación de la luz solar en energía eléctrica. Esta capa es lo suficientemente fina como para ser flexible.

Según el material de esta capa se diferencian, a su vez, 3 principales tecnologías:

- Silicio amorfo: son fabricados depositando en forma de vapor una película de silicio sobre una superficie de acero. Tiene un bajo rendimiento, siendo utilizado habitualmente en aparatos de bajo consumo. Son de bajo coste y su rendimiento decae más rápido que otras tecnologías con los años.
- Láminas finas de telururo de cadmio: en este caso, la lámina encargada de la producción de energía eléctrica es de telururo de cadmio. Al igual que las células anteriores, tienen bajo rendimiento. Se caracterizan por tener unos costos menores y una huella de carbono más pequeña.
- Células de lámina fina CIS: la lámina se conforma depositando una fina capa de cobre, galio, indio y seleniuro sobre un soporte de vidrio o plástico. Tienen un mayor rendimiento que los anteriores.

#### Silicio monocristalino:

Las células solares de silicio monocristalino están compuestas por un gran cristal de silicio puro, en el que la red cristalina de todo el sólido es continua. El silicio monocristalino puede ser preparado mediante:

- Un semiconductor intrínseco compuesto sólo de silicio puro
- Un semiconductor compuesto de silicio al que se le añade elementos como boro o fósforo.

#### Silicio policristalino:

Las células de silicio policristalino son muy similares a las monocristalinas, diferenciándose en el proceso de fabricación. En este caso, su estructura no es continua debido a que se compone de numerosos cristales de silicio.

Tanto el silicio monocristalino como el silicio policristalino son cristales son muy empleados en la fabricación de módulos fotovoltaicos. La principal diferencia entre ambos es que las células de silicio monocristalino presentan mayores rendimientos, en torno al 20% frente al 16% de los policristalinos gracias a su estructura continua. Sin

embargo, el proceso de fabricación implica un coste más elevado, debido a la complejidad que presenta la obtención de este material, sumado a que durante el proceso de fabricación se desperdicia mucho material.

Es por estas razones por las que, alrededor del 90% de los módulos fotovoltaicos son de silicio policristalino. Su pérdida de rendimiento es compensada con sus menores costes de fabricación [19].

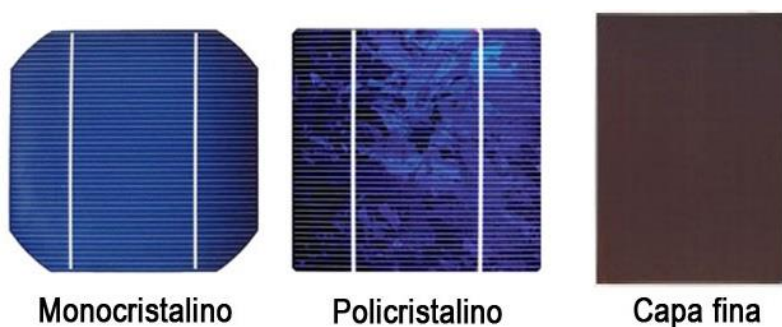


Ilustración 5.9. Células solares. Fuente: [www.energiasrenovablesinfo.com](http://www.energiasrenovablesinfo.com)

### 5.2.2. Módulos fotovoltaicos

Están compuestos por la conexión de varias células en serie y/o paralelo de forma que la tensión y voltaje se ajuste al requerido del módulo. Por tanto, la potencia que ofrece un módulo depende directamente del número de células que lo componen.

Además de las propias células fotovoltaicas, los módulos están compuestos por:

- Cubierta exterior de vidrio templado: proporciona una resistencia a condiciones climatológicas adversas, resiste los cambios bruscos de temperatura y facilita la transmisión de luz, mejorando con ello el rendimiento.
- Material de relleno interior: funciona como encapsulante de las células fotovoltaicas, formado por materiales con una buena transmisión de la radiación y una baja degradabilidad por la acción de los rayos solares.
- Cubierta posterior: formada por varias capas opacas de material reflectante, de tal forma que redirige a las células los rayos solares que han pasado entre estas.
- Marco de metal: normalmente de aluminio o acero inoxidable. Aporta rigidez y estanqueidad al módulo fotovoltaico e incorpora los diferentes elementos de sujeción necesarios.
- Cableado y bornas de conexión: todo el cableado y las bornas de conexión deben tener protección contra la intemperie.
- Diodo de protección: se encarga de proteger contra sobrecargas u otras alteraciones de las condiciones del módulo fotovoltaico.

## 6. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

La construcción corresponde con una vivienda unifamiliar ubicada en Tagle, Cantabria, a 65 metros sobre el nivel del mar.

Esta vivienda está formada por dos plantas, una primera planta que da acceso a la vivienda y garaje, y una segunda planta que corresponde con la zona habitable de la edificación.

En la planta inferior, además de encontrarse el garaje, cuenta con un vestíbulo, un trastero y un cuarto destinado a almacenar las instalaciones necesarias.

En la planta superior, la que corresponde con la vivienda, está constituida por un dormitorio principal, dos dormitorios pequeños y dos baños, distribuidos a lo largo de un pasillo y, finalmente, una estancia destinada a la cocina y salón/comedor. Dicha estancia cuenta con un pequeño balcón en su fachada norte, y finaliza en un pequeño porche en la fachada sur, el cual da acceso a la parte superior de la finca en la que se ubica.

La vivienda está provista de una ventilación mecánica modelo DEE-FLY 90 con recuperación de calor, suelo radiante de UPONOR y una instalación de aerotermia modelo Genia Air Max 6 de Saunier Duval.

Se ha propuesto un aislamiento SATE mediante placas de poliestireno expandido (EPS) y como carpintería se ha usado PVC de doble junta con 5 cámaras de aire, doble cámara de aire y vidrios bajo emisivos, con persianas modelo VEKAVARIANT 2.0.

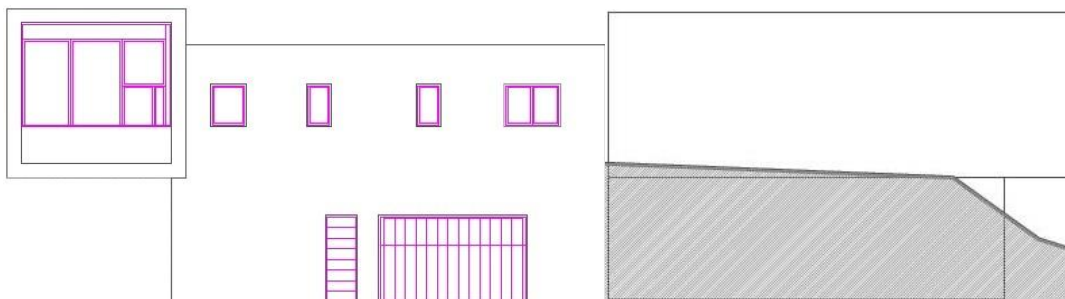


Ilustración 6.1. Alzado norte y este. Fuente: Propia



Ilustración 6.2. Alzado sur y oeste. Fuente: Propia

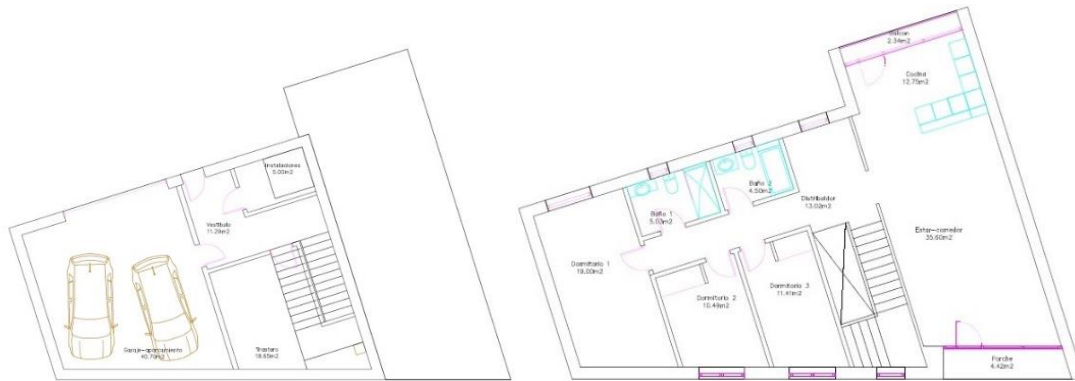


Ilustración 6.3. Planta garaje y vivienda. Fuente: Propia

Los planos de la vivienda, con la acotación necesaria para la realización de los cálculos del presente proyecto, se encuentran detallados en ANEXO I.

## 6.1. APLICACIÓN DB-HE0 LIMITACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

El Código Técnico de la Edificación establece en el DB-HE0 la limitación del consumo energético necesario para satisfacer las demandas térmicas en función de la zona climática en la que este se encuentre:

	Altitud sobre el nivel del mar (h)																										
Provincia	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1100 m	1101 - 1150 m	1151 - 1200 m	1201 - 1250 m	1251 - 1300 m	≥ 1301 m
Albacete	C3										D3										E1						
Alicante/Alacant	B4					C3										D3											
Almería	A4		B4			B3			C3							D3											
Araba/Álava	D1												E1														
Asturias	C1		D1										E1														
Ávila	D2								D1										E1								
Badajoz	C4								C3		D3																
Balears, Illes	B3					C3										E1											
Barcelona	C2					D2					D1					E1											
Bizkaia	C1					D1										E1											
Burgos	D1					E1																					
Cáceres	C4					D3										E1											
Cádiz	A2		B3			C3					C2					D2											
Cantabria	C1		D1										C2					E1									

Ilustración 6.4. Zonas climáticas. Fuente: Código técnico de la edificación

Como se puede comprobar, la vivienda se encuentra en la zona climática “C1”.

Además de la zona climática, otro factor que influye en la limitación del consumo energético de la vivienda es la superficie contenida dentro de la envolvente térmica de la zona habitable, la cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Superficie útil. Fuente: Propia



Superficie vivienda	
Estancia	Superficie (m <sup>2</sup> )
Dormitorio 1	19.00
Dormitorio 2	10.49
Dormitorio 3	11.41
Baño 1	5.03
Baño 2	4.50
Distribuidor	13.02
Cocina	12.75
Salón	35.60
Superficie útil	111.80

A continuación, se establecen los límites de consumo, siguiendo las referencias establecidas en el DB-HE0:

Límite de consumo de energía primaria no renovable ( $C_{ep,nren}$ ):

Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m <sup>2</sup> ·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
<b>Edificios nuevos y ampliaciones</b>	20	25	28	32	38	43
<b>Cambios de uso a residencial privado y reformas</b>	40	50	55	65	70	80

*Ilustración 6.5. Limitación energía no renovable. Fuente: Código técnico de la edificación*

En este caso:  $C_{ep,nren} = 32 \times 111.80 = 3.577,60$  kWh/año

Mientras que el límite de consumo de energía total se obtiene mediante la siguiente tabla:

Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m <sup>2</sup> ·año] para uso residencial privado						
	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
<b>Edificios nuevos y ampliaciones</b>	40	50	56	64	76	86
<b>Cambios de uso a residencial privado y reformas</b>	55	75	80	90	105	115

*Ilustración 6.6. Limitación energía total. Fuente: Código técnico de la edificación*

Por tanto:  $C_{ep,tot,lim} = 64 \times 111.80 = 7.155,2$  kWh/año





## 6.2. APLICACIÓN DB-HE1 CONDICIONES PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

En esta sección se establecen valores límites de la transmitancia térmica de la envolvente térmica, así como de las ganancias solares a través de los huecos de esta.

### 6.2.1. Transmitancia térmica límite

El CTE nos establece unos valores límite de transmitancia térmica de la envolvente de la vivienda.

Este documento, establece un valor límite de la transmitancia global de la envolvente térmica, denominado “K”, el cual se constituye a partir de la individualidad de cada elemento que la conforma.

El valor límite de “K” se obtiene mediante la “compacidad”, la cual el CTE la define como: “Relación entre el volumen encerrado por la envolvente térmica (V) del edificio y la suma de las superficies de intercambio térmico de dicha envolvente”.

	Compacidad V/A [m³/m²]	Zona climática de invierno					
		$\alpha$	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	V/A ≥ 4	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62

Ilustración 6.7. Compacidad. Fuente: Código técnico de la edificación

Para calcular nuestro valor “K” deberemos calcular previamente la compacidad e interpolar entre los valores de la tabla (0,53 y 0,72).

Tabla 6.2. Superficie envolvente térmica. Fuente: Propia

Envolvente térmica	
Orientación	Superficie total (m²)
Norte	49,83
Oeste	14,49
Sur	46,09
Este	40,07
Total	137,48

La superficie de la envolvente térmica del edificio es de 137,48 m², mientras que el volumen encerrado por dicha envolvente es de 337,36 m³. Por tanto, en este caso la compacidad es de 2,45. Interpolando con los valores de la tabla anterior obtenemos

$$K_{\text{lim}} = 0,62 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

### Transmitancia térmica “U”:

Como se definió anteriormente, la transmitancia térmica es la cantidad de calor que fluye por unidad de tiempo a través de un elemento.

Para el cálculo del valor de “U” para los diferentes elementos que componen la envolvente, hay que definir los distintos materiales y dimensiones que componen cada elemento, con su correspondiente resistencia térmica y posteriormente comprobar que cumple con los valores límites establecidos por el CTE:

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s$ , $U_M$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ ) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_H$ )	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

Ilustración 6.8. Limitación transmitancia. Fuente: Código técnico de la edificación

Para el cálculo se usará como documento de apoyo denominado “Cálculo de parámetros característicos de la envolvente” [20], y el “Catálogo de elementos constructivos del CTE” [21], los cuales nos facilitan datos tales como: las resistencias térmicas de los materiales, los valores de las resistencias térmicas por convección y la resistencia térmica que ofrecen las cámaras de aire, entre otros:




Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Ilustración 6.9. Resistencias térmicas superficiales. Fuente: Código técnico de la edificación

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Ilustración 6.10. Resistencia térmica cámara de aire. Fuente: Código técnico de la edificación





ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN



A continuación, se describe la composición de la envolvente térmica, así como el cálculo de su transmitancia:

Tabla 6.3. Composición de la fachada. Fuente: Propia

Muros exteriores			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/mK)	Resistencia (m <sup>2</sup> K/W)
Enlucido de yeso	1,5	0,3	0,05
Ladrillo perforado	13	0,35	0,37
Cámara de aire	2		0,17
Ladrillo hueco	15	0,32	0,47
Mortero adhesivo	0,2	1,30	0,0015
Poliestireno expandido	8	0,029	2,76
Mortero para revoco	0,3	1,30	0,0023
			3,83

A esta resistencia hay que sumarle los valores “R<sub>se</sub>” y “R<sub>si</sub>”:

$$R_t = 0,04 + 3,83 + 0,13 = 4 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Por tanto, la transmitancia térmica de los muros es:

$$U_{\text{muros}} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{4} = 0,25 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} < 0,49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \rightarrow \text{Es válido}$$

Tabla 6.4. Composición de la cubierta. Fuente: Propia

Cubierta			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/mK)	Resistencia (m <sup>2</sup> K/W)
Grava	5	2	0,025
Membrana PVC	0,2	0,17	0,012
Poliestireno expandido	12	0,029	4,14
tela asfáltica	0,3	0,23	0,013
Mortero	2,5	1,30	0,019
Forjado de hormigón	30	1	0,3
			4,50

Sumando los correspondientes valores “R<sub>se</sub>” y “R<sub>si</sub>”:

$$R_t = 0,04 + 0,10 + 4,50 = 4,64 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Por tanto, la transmitancia térmica de la cubierta es:

$$U_{\text{cubierta}} = \frac{1}{4,64} = 0,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} < 0,40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \rightarrow \text{Es válido}$$



Tabla 6.5. Composición del forjado. Fuente: Propia

Forjado			
Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/mK)	Resistencia (m <sup>2</sup> K/W)
Parquet	1	0,2	0,05
Mortero	4	1,8	0,022
Poliestireno expandido	5	0,029	1,72
Forjado de hormigón	30	1	0,3
			2,10

Sumando los correspondientes valores “R<sub>se</sub>” y “R<sub>si</sub>”:

$$R_t = 0,04 + 0,17 + 2,10 = 2,31 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Por tanto, la transmitancia térmica del forjado es:

$$U_{\text{suelo}} = \frac{1}{2,31} = 0,43 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} < 0,70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \rightarrow \text{Es válido}$$

El siguiente elemento necesario calcular de la envolvente son los huecos, para lo cual se utilizará la siguiente expresión:

$$U_H = \frac{A_{H,v}U_{H,v} + A_{H,m}U_{H,m} + A_{H,p}U_{H,p} + [V\Psi_V + p\Psi_p]}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

Donde,

$U_H$  es la transmitancia térmica del hueco ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ )

$U_{H,v}$  es la transmitancia térmica del acristalamiento ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ )

$U_{H,m}$  es la transmitancia térmica del marco ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ )

$U_{H,p}$  es la transmitancia térmica de la zona con panel opaco o cajón de persiana ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ )

$\Psi_V$  es la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento ( $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$ )

$\Psi_p$  es la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos o cajón de persiana ( $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$ )

$A_{H,v}$  es el área de la parte acristalada (m<sup>2</sup>)

$A_{H,m}$  es el área del marco (m<sup>2</sup>)

$A_{H,p}$  es el área de la parte con panel opaco o cajón de persiana (m<sup>2</sup>)



$l_v$  es la longitud de contacto entre marco y acristalamiento (m)

$l_p$  es la longitud de contacto entre marco y paneles opacos o cajón de persiana (m)

Los cálculos de este apartado se encuentran en el Anexo II.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.6. Transmitancia huecos. Fuente: Propia

Huecos		
	Estancia	Transmitancia (W/m <sup>2</sup> K )
Fachada norte	Dormitorio 1	1,49
	Baño 1	1,46
	Baño 2	1,46
	Distribuidor	1,40
	Cocina	1,49
Fachada sur	Salón	1,49
	Distribuidor	1,54
	Dormitorio 2	1,42
	Dormitorio 3	1,42

Una vez definidos los diferentes componentes de la envolvente térmica hay que calcular y comprobar que se encuentra dentro del límite el valor de la transmitancia térmica global “K”.

Para ello, se usa la siguiente expresión:

$$K = \sum_x H_x / A_{int} = \sum_x b_{tr,x} [\sum_x A_{x,i} \cdot U_{x,i} + \sum_k l_{x,k} \cdot \Psi_{x,k} + \sum_j x_{x,j}] / \sum_x \sum_i b_{tr,x} \cdot A_{x,i}$$

Donde,

$H_x$  es el coeficiente de transferencia de calor del elemento x de la envolvente térmica

$A_{int}$  es el área de intercambio de la envolvente térmica (m<sup>2</sup>)

$b_{tr,x}$  es el factor de ajuste para los elementos de la envolvente. Todos los elementos de la envolvente tienen un valor de 1, salvo elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes exteriores a la envolvente, donde se le asigna un valor de 0

$A_{x,i}$  es el área de intercambio del elemento de la envolvente considerado (m<sup>2</sup>)

$U_{x,i}$  es el valor de la transmitancia térmica del elemento de la envolvente considerado  
( $\frac{W}{m^2K}$ )

$l_{x,k}$  es la longitud del puente térmico considerado (m)

$\Psi_{x,k}$  es el valor de la transmitancia térmica lineal del puente térmico considerado ( $\frac{W}{mK}$ )

$x_{x,j}$  es la transmitancia puntual del puente térmico considerado ( $\frac{W}{mK}$ )

Para poder realizar el cálculo del parámetro “K”, se requiere calcular la transmitancia térmica lineal de la envolvente térmica, para lo que se recurrirá al documento de apoyo “Puentes térmicos” [22] del CTE.

Para dicho cálculo se ha considerado el sistema de dimensiones interiores, debido a que es el más habitual en nuestra normativa, además de ser el más usado por las herramientas oficiales de evaluación de la eficiencia energética de los edificios.

Cuando el aislamiento se sitúa por el exterior, el puente térmico en el forjado es prácticamente inexistente, los valores de transmitancia térmica lineal se obtienen de la siguiente tabla:

	$\Psi_e$ [W/mK]			$\Psi_i$ [W/mK]		
	Espesor forjado (cm)			Espesor forjado (cm)		
	25	30	35	25	30	35
$U_{muro}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	0,02	0,02	0,25	0,29	0,33
	0,44	0,01	0,01	0,15	0,17	0,19
	0,31	0,00	0,00	0,10	0,12	0,13
	0,27	0,00	0,00	0,09	0,10	0,12
	0,24	0,00	0,00	0,08	0,09	0,10

Ilustración 6.11. Transmitancia lineal forjado. Fuente: Código técnico de la edificación

De manera similar, al no interrumpirse a lo largo de la envolvente térmica el aislamiento, la transmitancia térmica lineal de la cubierta tiene valores muy bajos, obtenidos de la siguiente tabla:

	$\Psi_e$ [W/mK]					$\Psi_i$ [W/mK]				
	$U_{cubierta}$ [W/m <sup>2</sup> K]					$U_{cubierta}$ [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28	0,50	0,38	0,28	0,28	0,28
$U_{muro}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,37	0,37	0,35	0,35
	0,44	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,32	0,3	0,28	0,28
	0,31	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,25	0,25
	0,27	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,29	0,27	0,24	0,24
	0,24	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,28	0,26	0,24	0,24

Ilustración 6.12. Transmitancia lineal cubierta. Fuente: Código técnico de la edificación

En cuanto a la transmitancia térmica lineal en las fachadas:

	$\Psi_e$	$\Psi_i$
	[W/mK]	[W/mK]
$U_{muro}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,73	-0,24
	0,44	-0,15
	0,31	-0,11
	0,27	-0,10
	0,24	-0,10

Ilustración 6.13. Transmitancia lineal fachada. Fuente: Código técnico de la edificación



En resumen, tenemos los siguientes valores:

Tabla 6.7. Resumen transmitancias. Fuente: Propia

Transmitancia térmica ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )		Transmitancia térmica lineal ( $\text{W/mK}$ )
muro	0,25	0,05
suelo	0,43	0,09
cubierta	0,21	0,24
huecos	1,40	0,08
	1,46	
	1,46	
	1,49	
	1,54	
	1,42	
	1,42	
	1,49	
	1,49	

Con estos datos, se puede proceder al cálculo del parámetro “K”, que se realizará por partes:

Tabla 6.8. Cálculo parámetro k superficie. Fuente: Propia

Superficies	A	U	btr	TOTAL
FACHADAS	137,48-47,363= 90,117	0,25	1	22,529
SUELO	111,800	0,43	1	48,074
CUBIERTA	111,800	0,21	1	23,478
HUECOS	1,375	1,40	1	1,925
	0,963	1,46	1	1,406
	0,963	1,46	1	1,406
	2,200	1,49	1	3,278
	2,300	1,54	1	3,542
	2,520	1,42	1	3,578
	2,520	1,42	1	3,578
	17,261	1,49	1	25,719
	17,261	1,49	1	25,719
$b_{tr,x} \cdot \sum_i A_{x,i} U_{x,i}$				186,762

Tabla 6.9. Cálculo parámetro  $k$  puentes térmicos. Fuente: Propia

Puentes Térmicos	l	w	btr	TOTAL
FACHADAS	131,61	0,05	1	6,5805
SUELO	51,21	0,09	1	4,6089
CUBIERTA	51,21	0,24	1	12,2904
HUECOS	4,75	0,08	1	0,38
	4,15	0,08	1	0,332
	4,15	0,08	1	0,332
	5,95	0,08	1	0,476
	6,60	0,08	1	0,528
	6,35	0,08	1	0,508
	6,35	0,08	1	0,508
	16,62	0,08	1	1,3296
	16,62	0,08	1	1,3296
$b_{tr,x} \cdot \sum_k l_k \Psi_k$				29,203

Tabla 6.10. Cálculo parámetro  $k$  área de intercambio. Fuente: Propia

Área de Intercambio E.T	A	btr	TOTAL
FACHADAS	137,48	1	137,48
SUELO	111,8	1	111,8
CUBIERTA	111,8	1	111,8
$\sum_x \sum_i b_{tr,x} \cdot A_{x,i}$			361,08

Sustituyendo en la ecuación:

$$K = \frac{(186,762 + 29,203)}{361,080} = 0,598 \frac{W}{m^2K} < 0,62 \frac{W}{m^2K} (K_{lim}) \text{ Por tanto, la envolvente térmica es válida.}$$

### 6.2.1. Control solar

El siguiente parámetro por evaluar de la envolvente térmica corresponde con la cantidad de energía solar que se introduce en la vivienda.

En esta sección se ignorará la existencia de la ventana situada en la fachada sur correspondiente al distribuidor, puesto que las ganancias solares a través de dicha ventana no generan aportación en el interior de la envolvente térmica.

El valor límite del control solar, establecido en el DB-HE1, es de 2 kWh/m<sup>2</sup>mes para edificios de uso residencial privado.

Dicho parámetro se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_{sol,jul} = (F_{sh;obs} * g_{gl;sh,wi} * A_{H,v} * H_{sol,jul}) / A_{util}$$



Donde;

$F_{sh,obs}$  es el factor sombra por obstáculos, ya sea por la existencia de un voladizo o por el retranqueo de la ventana.

$g_{gl;sh,wi}$  transmitancia total de energía solar de huecos con el dispositivo de sombra móvil activo.

$A_{H,v}$  es el área del vidrio de la ventana ( $m^2$ )

$H_{sol,jul}$  es la irradiación solar media acumulada en el mes de julio ( $\frac{kWh}{m^2}$ )

$A_{util}$  es el área de la estancia donde se ubica la ventana ( $m^2$ )

Los cálculos de este apartado se encuentran en Anexo II.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.11. Ganancias solares. Fuente: Propia

Huecos		
	Estancia	Ganancia solar (kWh/m <sup>2</sup> )
Fachada norte	Dormitorio 1	0,12
	Baño 1	0,17
	Baño 2	0,19
	Distribuidor	0,18
	Cocina	1,76
Fachada sur	Salón	0,35
	Dormitorio 2	0,24
	Dormitorio 3	0,22

Como se puede comprobar, todos los huecos cumplen con el límite.

### 6.3. APLICACIÓN DB-HE2 CONDICIONES DE LAS INSTALACIONES TÉRMICAS

Las instalaciones térmicas deberán ser las apropiadas para lograr el bienestar térmico, siendo las condiciones interiores establecidas por el “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios” (RITE) [23].



### 6.3.1. Cargas térmicas

Para el correcto dimensionamiento de las instalaciones térmicas lo primero es calcular las necesidades caloríficas del edificio.

Para el cálculo de las necesidades caloríficas de una vivienda se debe tener en consideración una serie de factores tales como: zona geográfica, superficie de la vivienda, orientación, calidades de los aislamientos, promedio de personas... que influyen tanto en la potencia calorífica necesaria, como en el rendimiento energético.

Se define carga térmica como la cantidad de energía necesaria para que un área conserve o consiga ciertas condiciones de temperatura y humedad. Es resultado de sumar dos valores, carga latente y carga sensible:

- Carga térmica latente: origina una variación en la humedad absoluta del ambiente
- Carga térmica sensible: origina una variación en la temperatura seca del aire

A su vez, las cargas térmicas se pueden diferenciar por su procedencia:

- Cargas térmicas externas al edificio:
  - Cargas a través de ventanas, superficies acristaladas...
  - Cargas debidas a infiltraciones
  - Cargas introducidas a través de la ventilación
  - Cargas a través de cerramientos
- Cargas térmicas generadas en el interior del edificio:
  - Cargas generadas por personas
  - Cargas generadas por equipos eléctricos
  - Cargas de iluminación

Para el cálculo de las cargas térmicas se utilizará el “Manual de Aire Acondicionado” de Carrier [24].

#### 6.3.1.1. Carga sensible

Las cargas sensibles se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{si} + Q_{sai}$$

Donde,

$Q_{sr}$  es el valor de la carga sensible debida a la radiación solar a través de las superficies acristaladas (W)

$Q_{str}$  es la carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (W)





$Q_{si}$  es la carga sensible transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior (W)

$Q_{sai}$  es la carga sensible debida a aportaciones internas (W)

Por tanto, el cálculo de la carga sensible se trata de un sumatorio de diferentes cargas sensibles, las cuales se definen a continuación:

Carga sensible debida a la radiación solar a través de cristales ( $Q_{sr}$ ):

Corresponde con las cargas debidas a la radiación solar que incide sobre los elementos translucidos y transparentes del edificio, aumentando la temperatura del ambiente interior.

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F$$

Donde,

$Q_{sr}$  es la carga térmica por radiación solar a través de cristal (W)

S es la superficie traslúcida o acristalada expuesta a la radiación ( $m^2$ )

R es la radiación solar que atraviesa la superficie correspondiente a la orientación, mes y latitud del lugar considerado ( $\frac{W}{m^2}$ )

F es el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio empleado en la ventana, efectos de sombras que pueda existir, etc. Este valor se puede obtener de las tablas incluidas en el documento CTE-DB HE Ahorro de energía.

Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos ( $Q_{str}$ ):

Corresponde con las cargas transmitidas a través de paredes y techos opacos que conforman la envolvente térmica, es decir, el calor que se pierde o se gana a través del cerramiento de la vivienda.

$$Q_{str} = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Donde,

$Q_{str}$  es la carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores (W)

U es el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento ( $\frac{W}{m^2K}$ )

S es la superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas ( $m^2$ )

$\Delta T$  es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior



Carga transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior ( $Q_{si}$ ):

Debido a la necesidad de ventilación, ya sea de forma natural o mecánica, se genera una carga térmica:

$$Q_{si} = V \cdot 0,34 \cdot \Delta T$$

Donde,

$Q_{si}$  es la carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior (W)

V es el caudal de aire infiltrado ( $\frac{m^3}{h}$ )

0,34 es el calor específico del aire en base al volumen ( $\frac{Wh}{m^3K}$ )

$\Delta T$  es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior

Carga sensible por aportaciones internas ( $Q_{sai}$ ):

Son las cargas que se generan en el interior del edificio:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

Donde,

$Q_{sil}$  es el valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local (W)

$Q_{sp}$  es la ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (W)

$Q_{se}$  es la ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc. (W)

Carga sensible debido a la iluminación ( $Q_{sil}$ ):

Se considerará que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible.

Para este tipo de cargas se supondrá una iluminación con bombillas led, lo que implica una aportación de  $10 \frac{W}{m^2}$ .

Carga sensible por ocupantes ( $Q_{sp}$ ):

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona ( $Q_{sp}$ ), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

- Radiación: debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- Convección: ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- Conducción: originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- Respiración: lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- Evaporación cutánea: este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes de la estancia.

En la tabla siguiente se indican los valores de calor latente y sensible, en W por ocupante, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local:

Tabla 6.12. Carga sensible por ocupantes. Fuente: Manual de aire acondicionado de Carrier

Grado de actividad	Temperatura seca del local					
	26°C		24°C		21°C	
	W		W		W	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentados, en reposo	61	41	67	35	75	27
Sentados, trabajo muy ligero	63	53	70	46	79	37
Empleado de oficina	63	68	71	60	82	49
De pie, marcha lenta	63	68	71	60	82	49
Sentado, de pie	64	82	74	72	85	61
Sentado, restaurante	71	90	82	79	94	67
Trabajo ligero en banco de taller	72	147	86	133	107	113
Baile o danza	80	168	95	153	117	131
Marcha, 5 km/h	96	196	111	181	135	158
Trabajo penoso	142	282	153	270	176	247

La expresión para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{sp} = n \cdot C_{\text{sensible, persona}}$$

Donde,



n es el número de personas que se espera que ocupen el local;

$C_{\text{sensible, persona}}$  es el calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla.

#### Carga sensible por aparatos eléctricos ( $Q_{se}$ ):

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado se considerará que parte de la potencia de funcionamiento de las máquinas y equipos presente en ese recinto se transformará en calor sensible.

Por otro lado, todos los equipos y electrodomésticos se considera que no funcionarán todos a la vez, por lo que le afectará un coeficiente de simultaneidad a la suma obtenida de todas las potencias.

#### 6.3.1.2. Carga latente

Las cargas latentes se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp}$$

Donde,

$Q_{li}$  es la carga latente transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior (W)

$Q_{lp}$  es la carga latente debida a la ocupación del local (W)

Por lo tanto, similar a lo ocurrido con la carga sensible, deberemos calcular cada una de las cargas anteriores y sumarmas.

#### Carga latente transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior ( $Q_{li}$ ):

Similar a lo ocurrido en las cargas sensibles, la ventilación también genera una carga latente. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{li} = V \cdot 0,63 \cdot \Delta w$$

Donde,

$Q_{li}$  es la carga térmica latente por ventilación de aire exterior (W)

V es el caudal de aire infiltrado y ventilación ( $\frac{m^3}{h}$ )



0,63 es el producto de la densidad del aire ( $\rho = 1,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) por el calor latente de vaporización del agua ( $C_{v,\text{agua}} = 0,52 \frac{\text{Wh}}{\text{gH}}$ )

$\Delta w$  es la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior ( $\frac{\text{gH}}{\text{kg}}$ )

#### Calor latente por ocupación ( $Q_{lp}$ ):

La carga latente por ocupación del local ( $Q_{lp}$ ) se determina multiplicando la valoración del calor latente emitido por la persona-tipo y por el número de ocupantes previstos para el local.

La expresión para obtener el calor latente de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{lp} = n \cdot C_{\text{latente, persona}}$$

Donde,

$n$  es el número de personas que se espera que ocupen el local

$C_{\text{latente, persona}}$  es el calor latente por persona y actividad que realice, según la tabla 6.12

#### 6.3.1.3. Condiciones interiores

Como temperatura interior de diseño se tomarán los valores de la siguiente tabla, extraída del RITE, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior según las estaciones del año:

Tabla 6.13. Condiciones de diseño interiores. Fuente: Propia

Condiciones de diseño interiores		
Estación del año	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

#### 6.3.1.4. Condiciones exteriores

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) nos facilita en “Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto” [25], las diferentes temperaturas de diseño por zonas climáticas.

Según la norma UNE 100014:2004 [26], se incluye además de la zona otro factor, el percentil.

El percentil 99%, el cual es el que se ha de escoger para viviendas residenciales, quiere decir que la temperatura es correcta para el 99% de los días del año.

En el régimen de invierno, es decir, para proyectos de calefacción, se toma “TS<sub>99</sub>(°C)”.

En el régimen de verano, correspondiente a proyectos de refrigeración, se tomará “TS<sub>1</sub>(°C)” y “TH<sub>1</sub>(°C)”.

**CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)**

TSMIN (°C)	TS <sub>99,6</sub> (°C)	TS <sub>99</sub> (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)
-0,3	3,6	4,7	6,0	81	22,0

**CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)**

TSMAX (°C)	TS <sub>0,4</sub> (°C)	THC <sub>0,4</sub> (°C)	TS <sub>1</sub> (°C)	THC <sub>1</sub> (°C)	TS <sub>2</sub> (°C)	THC <sub>2</sub> (°C)	OMDR (°C)
34,5	25,6	20,1	24,2	20,1	23,2	20,0	9,2

**CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)**

TH <sub>0,4</sub> (°C)	TSC <sub>0,4</sub> (°C)	TH <sub>1</sub> (°C)	TSC <sub>1</sub> (°C)	TH <sub>2</sub> (°C)	TSC <sub>2</sub> (°C)
22,1	24,9	21,4	24,1	20,6	23,3

Ilustración 6.14. Condiciones de diseño exteriores. Fuente: IDAE

### 6.3.1.5. Cargas térmicas de calefacción

Las cargas térmicas de calefacción se consideran como una pérdida de calor, ya que el ambiente interior del edificio tiene una mayor temperatura que el exterior.

Para el cálculo de estas cargas térmicas se tienen en cuenta sólo las cargas sensibles debidas a la transmisión a través de los cerramientos y las que se deben a la ventilación del aire.

El resto no se consideran, debido a que suponen aportaciones (radiación a través del vidrio, calor aportado por personas...).

Además, a fin de dimensionar correctamente el sistema de climatización, no se tendrá en cuenta el recuperador de calor de la ventilación, es decir, se dimensionará para la situación más desfavorable.

El cálculo de estas cargas se encuentra detallado en el Anexo III.

El resultado de las cargas térmicas de calefacción se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6.14. Cargas de calefacción. Fuente: Propia

Cargas térmicas de calefacción	
Tipo de carga	Q (W)
Cargas por transmisión	2.462,44
Cargas por renovación	633,37
Total	3.095,81

Es decir, el sistema de climatización debe ser capaz de aportar 3.095,81 W.



#### 6.3.1.6. Cargas térmicas de refrigeración

Se tienen en cuenta ambas cargas, las latentes y las sensibles, siendo la suma de ambas.

Las cargas térmicas de refrigeración se consideran como una ganancia de calor, ya que el ambiente interior del edificio se supone que tiene una menor temperatura que el exterior.

En un clima templado como el nuestro no es necesario recurrir a instalaciones de refrigeración debido a que las cargas de refrigeración resultan muy bajas, salvo por días excepcionalmente calurosos.

El cálculo de estas cargas se encuentra detallado en el Anexo III

El resultado de las cargas térmicas de refrigeración se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6.15. Cargas de refrigeración. Fuente: Propia

Cargas térmicas de refrigeración		
	Tipo de carga	Q (W)
Cargas sensibles	Cargas por radiación	1.908,72
	Cargas por transmisión	-499,19
	Cargas por ventilación	-31,09
	Cargas por aport. interna	1.892,88
Cargas latentes	Cargas por ventilación	351,38
	Cargas por ocupación	184
	Total	3.806,70

Esta demanda no justifica la necesidad de una instalación de refrigeración debido a que las cargas por radiación (1.908,72 W) se han calculado de forma simplificada, es decir, se ha realizado el cálculo utilizando la superficie total del hueco, ignorando la sombra que proyectan los retranqueos. Además, la aportación solar se reduce totalmente mediante el uso de la persiana en las horas de radiación solar máxima. El resto (1.897,98 W) se suplen en su mayoría por la ventilación con recuperador de calor de la que dispone la vivienda.

#### 6.3.2. Demanda de agua caliente sanitaria

En este apartado se calcula la demanda anual de agua caliente sanitaria, para lo que se requiere tener en cuenta variables tales como el consumo diario, la temperatura de consumo y la del agua proveniente de la red.

Todas estas variables se extraen del DB-HE4.





Según el CTE, para edificios de uso residencial privado, la demanda de referencia de ACS será de 28l/día-persona, a una temperatura de 50°C, con una ocupación mínima a la establecida por la siguiente tabla:

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Ilustración 6.15. Número de personas ACS. Fuente: IDAE

La demanda diaria de ACS será:

$$4 \times 28 = 112 \frac{\text{l}}{\text{día}} \text{ para la temperatura de referencia de } 60^\circ\text{C}$$

Cuando la temperatura de diseño es diferente de 60°C, la demanda se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D = D_{60} \cdot \frac{T_{60} - T_{\text{red}}}{T_d - T_{\text{red}}}$$

Donde,

$D_{60}$  es la demanda para una temperatura de 60°C ( $\frac{\text{l}}{\text{día}}$ )

$T_{60}$  es la temperatura de referencia (60°C)

$T_{\text{red}}$  es la temperatura mínima que suministra la red (°C)

$T_d$  es la temperatura de diseño (50°C)

La temperatura del agua proporcionada por la red, en °C, se obtiene de la siguiente tabla extraída del CTE:

Tabla 6.16. Temperatura del suministro del agua. Fuente: Propia

Temperatura de suministro del agua											
EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10

Para la temperatura propuesta de diseño la demanda es de:

$$D = 112 \cdot \frac{60 - 10}{50 - 10} = 140 \text{ l/día}$$

La potencia necesaria para calentar el agua de la temperatura a la que la proporciona la red hasta la de consumo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{\text{AC}} = C_{\text{agua}} \cdot (T_{\text{consumo}} - T_{\text{red}}) \cdot 1,16$$



Donde,

$Q_{AC}$  es la potencia requerida para suministrar el agua (W)

$C_{agua}$  es el consumo de agua diaria ( $\frac{l}{d}$ )

1,16 es el calor específico del agua ( $\frac{Wh}{l^{\circ}C}$ )

$T_{consumo}$  es la temperatura de consumo del agua (50 °C)

$T_{red}$  es la temperatura a la que es suministrada el agua por la red (°C)

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.17. Demanda calorífica ACS. Fuente: Propia

Demanda ACS				
Mes	Días	$T_{red}$	$Q_{diario}$ (kWh)	$Q_{mensual}$ (kWh)
Enero	31	10	6,50	201,38
Febrero	28	10	6,50	181,89
Marzo	31	11	6,33	196,34
Abril	30	11	6,33	190,01
Mayo	31	13	6,01	186,27
Junio	30	15	5,68	170,52
Julio	31	16	5,52	171,17
Agosto	31	16	5,52	171,17
Septiembre	30	16	5,52	165,65
Octubre	31	14	5,85	181,24
Noviembre	30	12	6,17	185,14
Diciembre	31	10	6,50	201,38
				2202,14

Por tanto, la demanda anual de ACS es de: 2.202,14 kWh.

Como es habitual en las instalaciones con aerotermia, se utilizará un acumulador para satisfacer la demanda instantánea de ACS.

Para el correcto dimensionamiento tanto de la potencia de caldera necesaria como el volumen del acumulador se utiliza como documento de apoyo la “Guía técnica. Agua caliente sanitaria central” de IDAE [27].

En primer lugar, se justificará la necesidad del acumulador. Para ello, se realizará el cálculo usando el “caudal instantáneo”. Es decir, se supondrá que la caldera deberá preparar toda el agua en el mismo instante en el que se demanda.



El primer paso es conocer el caudal instantáneo de los aparatos del edificio, para lo cual se recurre al documento básico “HS4 Suministro de agua” del Código Técnico de la Edificación [28].

Los caudales instantáneos nos los aporta el DB-HS4 mediante la siguiente tabla:

Tabla 6.18. Caudales instantáneos. Fuente: Código técnico de la edificación

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

El caudal instantáneo necesario no es más que el sumatorio de los mostrados en la tabla.

En la vivienda tenemos los siguientes:

$$\begin{aligned}
 \text{Baño 1} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Lavamanos} \rightarrow 0,03 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \\ \text{Ducha} \rightarrow 0,10 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \end{array} \right. \\
 \text{Baño 2} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Lavamanos} \rightarrow 0,03 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \\ \text{Bañera de más 1,40m o más} \rightarrow 0,20 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \end{array} \right. \\
 \text{Cocina} & \left\{ \begin{array}{l} \text{Fregadero doméstico} \rightarrow 0,10 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \\ \text{Lavavajillas doméstico} \rightarrow 0,10 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \\ \text{Lavadora doméstica} \rightarrow 0,15 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Por tanto, el caudal instantáneo es de:  $q_{\text{inst}} = 0,71 \frac{\text{dm}^3}{\text{s}}$ .

Como no se utilizan todos los aparatos al mismo tiempo se utiliza un coeficiente de simultaneidad. No existe una regla de obligado cumplimiento, por lo que se utilizará como referencia la norma UNE 149201:2017 [29]:



$$Q_c = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Donde,

$Q_c$  es el caudal simultáneo de cálculo ( $\frac{l}{s}$ )

$Q_T$  es el caudal total, suma de todos los aparatos del edificio ( $\frac{l}{s}$ )

A, B y C son coeficientes que dependen del tipo de edificio, los caudales totales y el mayor caudal de los aparatos ( $Q_U$ )

Dichos coeficientes se extraen de la siguiente tabla:

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	$Q_c$	$Q_T$	A	B	C
Viviendas	$<0,5$	$\leq 20$	0,682	0,450	-0,140
	$\geq 0,5$	$\leq 1$	1,000	1,000	0,000
	$\geq 0,5$	$\leq 20$	1,700	0,210	-0,700
	Sin límite	$> 20$	1,700	0,210	-0,700

Ilustración 6.16. Coeficientes simultaneidad. Fuente: IDAE

En el caso propuesto:

$$A = 0,682$$

$$B = 0,450$$

$$C = -0,140$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$Q_c = (0,71)^{0,45} \cdot 0,682 - 0,14 = 0,44 \frac{l}{s}$$

Para el cálculo de la potencia de la caldera se utiliza la siguiente expresión:

$$P = Q_c \cdot 3600 \cdot (T_d - T_{redmínima}) \cdot 1,16$$

Donde,

P es la potencia de la caldera (W)

$Q_c$  es el caudal crítico ( $\frac{l}{s}$ )

$T_d$  es la temperatura de diseño (50°C)

$T_{redmínima}$  es la temperatura mínima del agua suministrada por la red (10°C)



1,16 es el calor específico del agua ( $\frac{Wh}{l^{\circ}C}$ )

$$P = 0,44 \cdot 3600 \text{ s/h} \cdot (50-10) \cdot 1,16 = 73497,60 \text{ W} = 73,497 \text{ kW}$$

Como se puede apreciar, la potencia necesaria es muy elevada, de ahí surge la necesidad de utilizar un acumulador de agua para satisfacer la demanda en su punto crítico.

La energía acumulada en el depósito acumulada para satisfacer la demanda en hora punta es:

$$E_{\text{acumulación}} = V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{redmínima}}) \cdot 1,16 \cdot F_{\text{uso acumulación}}$$

Donde,

$E_{\text{acumulación}}$  es la energía acumulada en el depósito (Wh)

$V_{\text{acumulación}}$  es el volumen de agua almacenada (l)

$T_{\text{acumulación}}$  es la temperatura a la que se almacena el agua (50°C)

$T_{\text{redmínima}}$  es la temperatura mínima del agua suministrada por la red (10°C)

1,16 es el calor específico del agua ( $\frac{Wh}{l^{\circ}C}$ )

$F_{\text{uso acumulación}}$  es el factor de uso del volumen acumulado. Este parámetro depende de la geometría del depósito, siendo:

$$F_{\text{uso acumulación}} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{H}{D}$$

Siendo H y D la altura y el diámetro del depósito respectivamente.

En el presente proyecto, el depósito es capaz de almacenar 185 l y cuenta con unas dimensiones de 1251·340 mm, por tanto:

$$F_{\text{uso acumulación}} = 1,1451$$

Sustituyendo en la expresión anterior obtenemos:

$$E_{\text{acumulación}} = 9.829,54 \text{ W}$$

Para dimensionar un sistema con acumulación, la potencia de la caldera debe ser capaz de igualar a la demandada en hora punta.



La potencia a instalar resulta:

$$P_{\text{caldera}} = [Q_{\text{punta}} \cdot (T_d - T_{\text{redmínima}}) - V_{\text{acumulación}} \cdot (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{redmínima}}) \cdot F_{\text{uso acumulación}}] \cdot \frac{1,16}{\eta_{\text{ACS}}}$$

No existen normas ni publicaciones oficiales que determinen el consumo en hora punta. Como hipótesis conservadoras utilizadas en sistemas que no presentan problemas, se suele considerar como un 50% del consumo total en la hora punta, por lo que en este caso corresponderían con 70 litros.

Como rendimiento del sistema se utilizará un 80%, en el que se incluyen las pérdidas en las tuberías, el rendimiento de la caldera y el intercambio de calor que se produce en el serpentín del acumulador.

Sustituyendo en la ecuación anterior tenemos:

$$P_{\text{caldera}} = [70 \cdot (50 - 10) - 185 \cdot (50 - 10) \cdot 1,1451] \cdot \frac{1,16}{0,80}$$

De esta expresión se obtiene una potencia negativa, la cual carece de sentido. Esto es debido a que el volumen acumulado es mayor que el demandado en hora punta.

En estos casos, la potencia de la caldera se calcula en función del tiempo que tarda en preparar la totalidad del depósito.

Siguiendo las indicaciones de la guía, se estima un tiempo de 4 horas, por lo que la potencia:

$$P = \frac{185 \cdot (50 - 10) \cdot 1,16}{4 \cdot 0,80} = 2.682,50 \text{ W}$$

El genia air max T6 tarda 125 minutos en calentar, por lo que nos genera una potencia de:

$$P = \frac{185 \cdot (50 - 10) \cdot 1,16}{2,08 \cdot 0,80} = 5.158,65 \text{ W}$$

Por tanto, la bomba de calor elegida es válida.

### 6.3.3. Sistema de calefacción

Conocidas las necesidades térmicas de la vivienda se puede realizar el correcto dimensionamiento del sistema de calefacción, en este caso, será mediante suelo radiante.

Su diseño se realizará según la norma UNE-EN 1264 [30], la cual especifica los requisitos para el diseño y la construcción.

Se usará como documento de apoyo la “Guía de suelo radiante” de Fegeca [31].

Se usarán tubos PEX con diámetro de 0,020 m, un espesor de 0,002 m y una conductividad térmica de  $0,350 \frac{W}{mK}$ .

Los cálculos de dimensionamiento del suelo radiante se encuentran totalmente detallados en el Anexo IV.

Se propone una instalación de suelo radiante “tipo A”, quedando los tubos en el interior del pavimento.

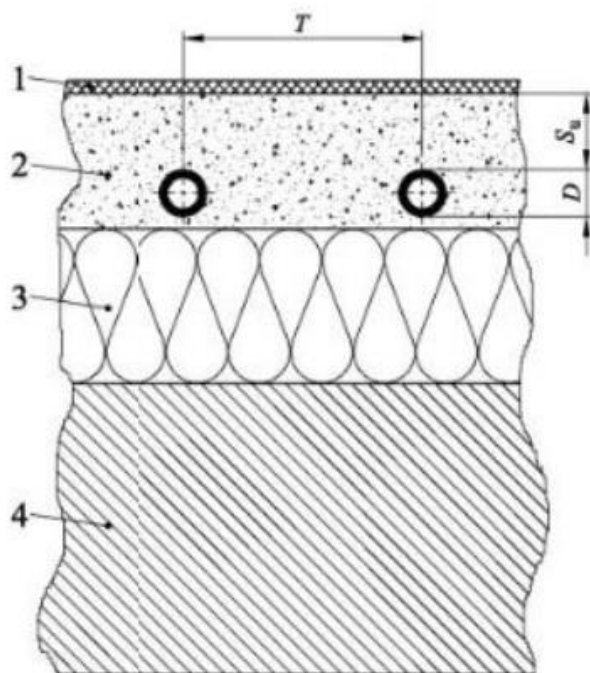


Ilustración 6.17. Suelo radiante tipo A. Fuente: Guía de suelo radiante de Fegeca

Donde,

1 es el revestimiento de suelo (parquet) de resistencia térmica  $R_{\lambda,B} (\frac{m^2K}{W})$

2 es la capa de mortero sobre el panel aislante del suelo  $\lambda_E (\frac{W}{mK})$

3 es la capa aislante del suelo

4 es el forjado

T es la separación entre los tubos (m)

D es el diámetro del tubo (m) de espesor  $S_R$  (m) y conductividad  $\lambda_R (\frac{m^2K}{W})$

Su es la capa de mortero situada sobre el tubo (m)





Para la vivienda propuesta se tienen los siguientes valores:

Tabla 6.19. Valores suelo radiante. Fuente: Propia

Suelo radiante	
$R_{\lambda,B} (\frac{m^2K}{W})$	0,050
$\lambda_E (\frac{W}{mK})$	1,800
$S_U (m)$	0,020
$D (m)$	0,020
$S_R (m)$	0,002
$\lambda_R (\frac{m^2K}{W})$	0,350

Se establece una temperatura interior de diseño de 21°C para zonas ocupadas y periféricas, con un límite de 29°C en la superficie radiante, y de 24°C para los baños con un límite de 33°C en la superficie.

Además, el salto térmico entre el fluido de impulsión y el de retorno será de  $\sigma=5^\circ\text{C}$ .

Uno de los factores más importantes para tener en cuenta en el dimensionamiento del suelo radiante es la demanda calorífica que se tiene por estancia, existiendo limitaciones impuestas por el fabricante que hay que tener en cuenta.

Para el correcto dimensionamiento de la instalación se debe localizar la “estancia crítica”, siendo esta la que requiere una mayor cantidad de calor por superficie, denominado flujo térmico específico, y este no podrá superar el flujo térmico límite, establecido mediante:

$$q_{lim}=8,92 \cdot (\vartheta_F - \vartheta_i)^{1,1}$$

Donde,

$q_{lim}$  es el flujo de calor límite ( $\frac{W}{m^2}$ )

$\vartheta_F$  es la temperatura límite de la superficie radiante de la estancia (°C)

$\vartheta_i$  es la temperatura interior de diseño de la estancia (°C)

Sustituyendo en la expresión anterior, obtenemos los siguientes valores límite:

Tabla 6.20. Flujo térmico límite. Fuente: Propia

Flujo térmico límite			
Espacio	$\vartheta_F$ (°C)	$\vartheta_i$ (°C)	$q_{lim}$ (w/m²)
Área ocupada	29	21	87,85
Baño	33	24	100,00



El flujo térmico específico “q” se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q = \frac{Q_{\text{estancia}}}{A_{\text{estancia}}}$$

Donde,

$Q_{\text{estancia}}$  es la carga térmica total para esa estancia (W)

$A_{\text{estancia}}$  es la superficie de la estancia ( $\text{m}^2$ )

En este caso, los datos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.21. Flujo térmico específico. Fuente: Propia

Flujo térmico específico			
Estancia	Área ( $\text{m}^2$ )	$Q_{\text{estancia}}$ (W)	q ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
Dormitorio 1	19,00	419,08	22,06
Dormitorio 2	10,49	206,92	19,73
Dormitorio 3	11,41	214,02	18,76
Baño 1	5,03	117,91	23,44
Baño 2	4,50	105,95	23,54
Distribuidor	13,02	289,50	22,24
Cocina	12,75	702,35	55,09
Salón	35,60	1040,08	29,22

Todos los flujos térmicos cumplen con el requisito de no superar el valor de  $q_{\text{lim}}$ .

En el caso propuesto, la estancia crítica corresponde con la cocina con  $q_{\text{crit}} = 55,09 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ .

Para determinar los parámetros de diseño de la instalación se debe realizar un conjunto de curvas, las cuales reciben el nombre de “curvas características”. Estas curvas representan, para un sistema determinado, la variación en la densidad del flujo térmico (q) respecto al salto térmico ( $\Delta\theta_H$ ) existente entre la temperatura de la estancia y el fluido caloportador.

Las curvas se realizan a partir de los parámetros del suelo para una separación entre tubos, denominada pasos (T), determinada.

En el presente proyecto se han estudiado los siguientes pasos:

Tabla 6.22. Pasos estudiados. Fuente: Propia

Pasos T (m)			
0,05	0,10	0,15	0,20



Para calcular las curvas características para una configuración de suelo radiante tipo A se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$$

Donde,

$q$  es el flujo térmico límite de la instalación ( $\frac{W}{m^2}$ )

$\Delta\theta_H$  es la diferencia media logarítmica entre el fluido y la estancia ( $^{\circ}C$ )

$K_H$  es el producto de factores y exponentes que dependen de los parámetros del sistema

En el presente proyecto se obtienen las siguientes curvas características:

Tabla 6.23. Curvas características. Fuente: Propia

Curvas características	
T (m)	$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$
0,05	6,04
0,10	5,54
0,15	5,05
0,20	4,57

Una vez calculadas las curvas características se deben calcular las curvas límite, cuyo proceso se realiza de forma similar a las curvas características, mediante la siguiente ecuación:

$$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{\varphi}\right)^{n_G}$$

Donde,

$\varphi$  es un factor de conversión para todos los valores de temperaturas  $\theta_F$  y  $\theta_i$ , calculado mediante:

$$\varphi = \frac{\theta_F - \theta_i}{\Delta\theta_0} = \frac{29 - 21}{9} = 0,88$$

$\Delta\theta_0$  es la diferencia de temperatura máxima admisible ( $9^{\circ}C$ )

$B_G$  es un coeficiente que se obtiene mediante el cociente  $\frac{S_u}{\lambda E} = \frac{0,02}{1,8} = 0,01$

$n_G$  es un coeficiente que, al igual que  $B_G$  se obtiene mediante el cociente  $\frac{S_u}{\lambda E} = \frac{0,02}{1,8} = 0,01$

Para este valor de  $\frac{S_u}{\lambda E}$ , la norma UNE nos proporciona un valor para cada paso:

Tabla 6.24. Parámetros de curvas límite. Fuente: Propia

Parámetros de curvas límite		
T (m)	B <sub>G</sub>	n <sub>G</sub>
0,05	85	0,008
0,10	66	0,046
0,15	51	0,088
0,20	38,5	0,131

Sustituyendo en la expresión anterior obtenemos las curvas límite:

Tabla 6.25. Curvas límite. Fuente: Propia

Curvas límite	
T (m)	$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{\varphi}\right)^{n_G}$
0,05	$0,88 \cdot 85 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,008}$
0,10	$0,88 \cdot 66 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,046}$
0,15	$0,88 \cdot 51 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,088}$
0,20	$0,88 \cdot 38,5 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,131}$

Conocidas las ecuaciones que definen las curvas límite y características se pueden graficar usando Excel:

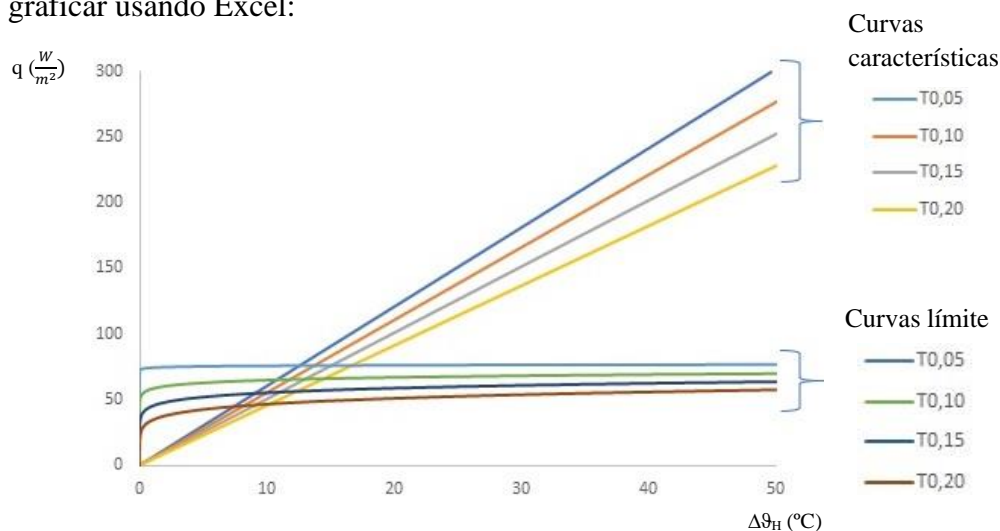


Ilustración 6.18. Curvas suelo radiante. Fuente: Propia

Conocidas las curvas se evalúa, con el valor del flujo térmico crítico calculado (el correspondiente a la cocina), que pasos son válidos.

Sustituyendo esta  $q_{crit}$  ( $55,09 \frac{W}{m^2}$ ) en cada curva característica obtenemos una diferencia media logarítmica máxima de la temperatura del fluido caloportador y la temperatura de la estancia ( $\Delta\theta_{Hmax}$ ):



Tabla 6.26. Diferencia de temperatura. Fuente: Propia

Diferencia de temperatura	
T (m)	$\Delta\theta_{Hmax}$
0,05	9,12
0,10	9,94
0,15	10,91
0,20	12,05

Ahora se comprueba que, para cada paso, sustituyendo en las curvas límite su correspondiente valor de  $\Delta\theta_{Hmax}$  el flujo térmico resultante ( $q_G$ ) no sea inferior al flujo térmico crítico ( $q_{crit}$ ):

Tabla 6.27. Flujo térmico  $q_G$ . Fuente: Propia

Flujo térmico	
T (m)	$q_G$
0,05	76,36
0,1	58,71
0,15	55,13
0,2	46,02

Además, conocidos los valores anteriores se puede calcular la temperatura de impulsión mediante las siguientes ecuaciones:

$$\Delta\theta_{vmax} = \Delta\theta_{Hmax} + \sigma/2$$

$$\theta_v = \Delta\theta_{vmax} + \theta_i$$

Donde,

$\Delta\theta_{vmax}$  es la máxima diferencia de temperatura entre el fluido caloportador y la temperatura de la estancia

$\Delta\theta_{Hmax}$  es diferencia media logarítmica máxima

$\theta_v$  es la temperatura de impulsión ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\theta_i$  es la temperatura interior de la estancia ( $21^{\circ}\text{C}$ )

$\sigma$  es la diferencia entre la temperatura de impulsión y de retorno ( $5^{\circ}\text{C}$ )

Sustituyendo en estas ecuaciones los datos obtenidos en las curvas, se obtienen los resultados resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 6.28. Evaluación de pasos. Fuente: Propia

Evaluación de pasos					
T (m)	$q_{crit}$ (W/m <sup>2</sup> )	$q_G$ (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta\theta_{Hmax}$	$\Delta\theta_{vmax}$	$\theta_v$ (°C)
0,05	55,09	76,36	9,12	11,62	32,62
0,10	55,09	58,71	9,94	12,44	33,44
0,15	55,09	55,13	10,91	13,41	34,41
0,20	55,09	46,02	12,05	14,55	35,55

Como se puede observar, el paso de  $T=0,20m$  queda descartado puesto que  $q_{crit} > q_G$ .

Los demás pasos son válidos, ya que los flujos se encuentran entre el límite y el crítico.

Se escoge el paso de  $T=0,15m$  debido a que la temperatura de impulsión es la más cercana a 40°C, siendo esto uno de los criterios de diseño y, además, al tener una mayor separación se necesitará menos metros de tubo, con el consecuente ahorro económico.

Por tanto, la temperatura de retorno será de:

$$\theta_R = \theta_v - \sigma = 34,41 - 5 = 29,41^\circ\text{C}$$

Finalmente, para este paso seleccionado, se comprueba que la temperatura media superficial del suelo no supera la temperatura superficial establecida por norma.

Para el cálculo de la temperatura media superficial del suelo  $\theta_{f,m}$ , se usa la “curva característica básica”. Dicha curva establece la relación entre la potencia específica ( $q$ ) de cada estancia y la diferencia de temperatura existente entre la superficie y el interior de dicha estancia ( $\theta_{f,m} - \theta_i$ ).

Para la estancia crítica quedaría de la siguiente forma:

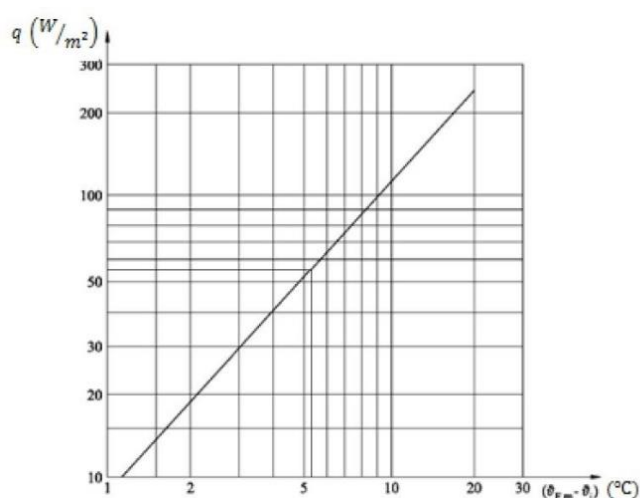


Ilustración 6.19. Curva característica básica. Fuente: Guía de suelo radiante de Fegeca



$$\vartheta_{f,m} - \vartheta_i = 5,3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Por tanto: } \vartheta_{f,m} = 21 + 5,3 = 26,3^{\circ}\text{C}$$

El valor obtenido es válido ya que, el límite establecido para la temperatura del suelo es de  $29^{\circ}\text{C}$  para todas las estancias excepto para los baños, que es de  $33^{\circ}\text{C}$ .

#### 6.3.3.1. Longitud total del tubo

Para el cálculo de la longitud del circuito se considera la totalidad de la superficie útil de la vivienda (111,80 m). La longitud de los circuitos, como se mencionó anteriormente, no debe superar los 120 m de longitud para evitar pérdidas de carga excesivas, pudiendo dividirse en varios circuitos. La longitud se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{A}{T} + 2 \cdot L_c$$

Donde,

L es la longitud del circuito (m)

A es la superficie de la estancia a climatizar ( $\text{m}^2$ )

T es la distancia entre tubos (m)

$L_c$  es la distancia entre el colector y la estancia a climatizar (m)

En este caso tenemos:

Tabla 6.29 Longitud de tubo. Fuente: Propia

Longitud del tubo						
Estancia	$L_c$ (m)	Paso (m)	Área ( $\text{m}^2$ )	$L^*$ (m)	nº circuitos	L (m)
Dormitorio 1	8,43	0,15	19,00	143,53	2	71,76
Dormitorio 2	6,73	0,15	10,49	83,39	1	83,39
Dormitorio 3	5,48	0,15	11,41	87,03	1	87,03
Baño 1	7,93	0,15	5,03	49,39	1	49,39
Baño 2	5,48	0,15	4,50	40,96	1	40,96
Distribuidor	0,00	0,15	13,02	86,80	1	86,80
Cocina	7,15	0,15	12,75	99,30	1	99,30
Salón	5,90	0,15	35,60	249,13	3	83,04

De la tabla se obtiene una cantidad de circuitos de 11 y una longitud total de los tubos es de 839,53 m.



### 6.3.3.2. Caudal de agua

En esta sección se calculará el caudal de agua necesario para cubrir las necesidades caloríficas de las estancias. Para ello, se usará la siguiente expresión:

$$m_H = \frac{A \cdot q}{\sigma \cdot C_p} \cdot \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\vartheta_i - \vartheta_u}{q \cdot R_u} \right)$$

Donde,

A es el área de la estancia ( $m^2$ )

q es la densidad de flujo térmico ( $\frac{W}{m^2}$ )

$\sigma$  es la diferencia entre la temperatura de impulsión y de retorno ( $5^\circ C$ )

$C_p$  es el calor específico del agua ( $4190 \frac{J}{kgK}$ )

$R_o$  es la resistencia a transmisión de calor parcial ascendente de la estructura del suelo ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$R_u$  es la resistencia a transmisión de calor parcial descendente de la estructura del suelo ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$\vartheta_i$  es la temperatura interior de la estancia ( $^\circ C$ )

$\vartheta_u$  es la temperatura de la estancia que se encuentra bajo la instalación de suelo radiante ( $^\circ C$ ). En el presente proyecto, correspondería con el garaje, el cual cuenta con una temperatura media de  $12,85^\circ C$  (obtenido mediante la estimación realizada para el cálculo de cargas térmicas, donde el salto térmico era  $\Delta T/2$ )

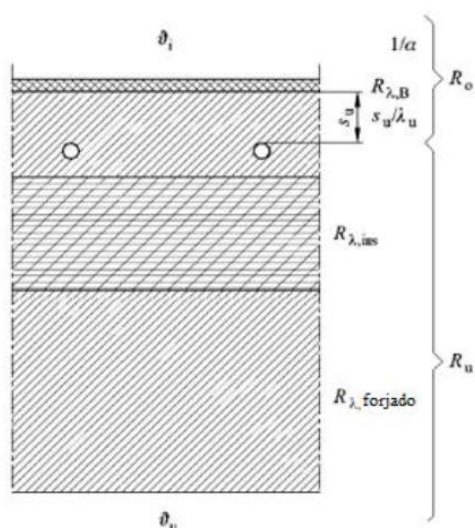


Ilustración 6.20. Sección de suelo radiante tipo A. Fuente: Guía de suelo radiante de Fegeca



A su vez,  $R_o$  se calcula mediante:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{S_u}{\lambda_E}$$

Donde,

$1/\alpha$  es la resistencia de transferencia de calor en la superficie de suelo radiante. Su valor es aportado por norma ( $0,0093 \frac{m^2K}{W}$ )

$R_{\lambda,B}$  es el revestimiento de suelo (parquet) de resistencia térmica ( $\frac{m^2K}{W}$ )

$S_u$  es la capa de mortero situada sobre el tubo (m)

$\lambda_E$  es la conductividad térmica de la capa de mortero sobre el panel aislante del suelo ( $\frac{W}{mK}$ )

$$R_o = 0,0093 + 0,050 + \frac{0,020}{1,80} = 0,0704 \frac{m^2K}{W}$$

$$R_u = R_{\lambda, aisl} + R_{\lambda, forjado} = 1,72 + 0,30 = 2,02 \frac{m^2K}{W}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior, podemos obtener el caudal para la estancia crítica:

Tabla 6.30. Flujo de estancia crítica. Fuente: Propia

Flujo de estancia crítica								
A ( $m^2$ )	q ( $\frac{W}{m^2}$ )	$\sigma$ ( $^{\circ}C$ )	Cp ( $\frac{J}{kgK}$ )	$R_o$ ( $\frac{m^2K}{W}$ )	$R_u$ ( $\frac{m^2K}{W}$ )	$\theta_i$ ( $^{\circ}C$ )	$\theta_u$ ( $^{\circ}C$ )	$m_H$ ( $\frac{kg}{s}$ )
12,75	55,09	5	4190	0,0704	2,02	21	12,85	0,0372

Seguidamente se calcula para el resto de las estancias. Usando la ecuación del paso elegido ( $T=0,15m$ ), se calcula la  $\Delta\theta_H$  de cada estancia (usando cada “q” correspondiente). Una vez calculado, se sustituye en la ecuación:

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_v - \theta_R}{\ln \left( \frac{\theta_v - \theta_i}{\theta_R - \theta_i} \right)}$$

Donde,

$\Delta\theta_H$  es la diferencia media logarítmica entre el fluido y la estancia ( $^{\circ}C$ )

$\theta_v$  es la temperatura de impulsión del paso seleccionado ( $34,41^{\circ}C$ )



$\vartheta_R$  es la temperatura de retorno ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\vartheta_i$  es la temperatura de la estancia ( $^{\circ}\text{C}$ )

Para el cálculo de  $\vartheta_R$  se realizan iteraciones, introduciendo sucesivamente un valor de  $\vartheta_R$  hasta obtener el valor de  $\Delta\vartheta_H$  de la estancia correspondiente. Una vez calculado, se comprueba que la diferencia entre la temperatura de impulsión y de retorno está entre los valores  $5 \leq \sigma \leq 15$ .

Si cumple el requisito, se comprueba mediante la curva característica básica que la temperatura superficial del suelo ( $\vartheta_{f,m}$ ) no supera el valor límite establecido, de forma similar a lo realizado con la estancia crítica.

Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.31. Flujo de suelo radiante. Fuente: Propia

Flujo de suelo radiante										
Estancia	Área ( $\text{m}^2$ )	$q$ ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ )	$\vartheta_i$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\vartheta_v$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	T (m)	$\Delta\vartheta_H$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\vartheta_R$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\sigma$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\vartheta_{f,m}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$m_H$ ( $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$ )
Dormitorio 1	19,00	22,06	21	34,41	0,15	4,37	21,74	12,67	23,40	0,0096
Dormitorio 2	10,49	19,73	21	34,41	0,15	3,91	21,49	12,92	23,15	0,0047
Dormitorio 3	11,41	18,76	21	34,41	0,15	3,71	21,4	13,01	23,10	0,0049
Baño 1	5,03	23,44	24	34,41	0,15	4,64	21,91	12,50	23,50	0,0029
Baño 2	4,50	23,54	24	34,41	0,15	4,66	21,92	12,49	23,55	0,0026
Distribuidor	13,02	22,24	21	34,41	0,15	4,40	21,76	12,65	23,47	0,0066
Cocina	12,75	55,09	21	34,41	0,15	10,91	29,41	5,00	26,30	0,0372
Salón	35,60	29,22	21	34,41	0,15	5,79	22,81	11,60	24,00	0,0251

De la tabla anterior se puede observar que el paso seleccionado es válido para todas las estancias, y que el caudal total de agua es de:

$$m_H = 0,0936 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

### 6.3.3.3. Bomba de circulación

En este apartado se calculan las pérdidas de carga que se producen a lo largo de la instalación, considerando además de la longitud de esta, los codos, accesorios y uniones existentes.



Para el cálculo de las pérdidas máximas se utiliza la siguiente expresión:

$$\Delta P_{\max} = \Delta P_{\text{circuito}} + \Delta P_{\text{accesorios}} + \Delta P_{b-c} + \Delta P_{\text{altura}}$$

Donde,

$\Delta P_{\text{circuito}}$  es la pérdida máxima entre los circuitos de las estancias

$\Delta P_{\text{accesorios}}$  es la pérdida debida a los diferentes codos, uniones y demás accesorios de la instalación

$\Delta P_{b-c}$  es la pérdida que se produce entre la bomba y el colector

$\Delta P_{\text{altura}}$  es la pérdida que se produce debido a la mayor diferencia de altura de la instalación

Por tanto, para calcular la pérdida de presión total, se debe calcular previamente de forma individual las pérdidas de presión citadas.

$\Delta P_{\text{circuito}}$ :

Para el cálculo de las pérdidas producidas en los circuitos se utilizará la expresión de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D} = \frac{f \cdot mH^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D \cdot \left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)^2} = \frac{\rho_{\text{agua}} \cdot f \cdot mH^2 \cdot 8L}{\pi^2 \cdot D^5}$$

Donde,

f es el factor de fricción de Darcy

v es la velocidad del fluido ( $\frac{m}{s}$ )

L es la longitud de la tubería (m)

D es el diámetro interior de la tubería (m)

$m_H$  es el caudal del fluido ( $\frac{m^3}{s}$ )

En cuanto al factor de fricción de Darcy, se calcula a partir del número de Reynolds, el cual se usa para definir la relación entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas del fluido:

$$Re = \frac{\rho_{\text{agua}} \cdot v \cdot D}{\mu_{\text{agua}}}$$

Donde,



Re es el número de Reynolds

$\rho$  es el peso específico del agua ( $997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

D es el diámetro interior de la tubería (16mm)

$\mu$  es la viscosidad del agua, tomando un valor de  $0,00072 \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$  para una temperatura  $T=35^\circ\text{C}$

v es la velocidad del fluido, se expresa como:

$$v = \frac{mH}{S_{\text{tubo}}}$$

Donde,

$S_{\text{tubo}}$  es la sección del tubo ( $\text{m}^2$ )

Una vez calculado el número de Reynolds, el factor de fricción Darcy dependerá de si nos encontramos en régimen laminar, turbulento o zona de transición:

- Si nos encontramos en régimen laminar ( $\text{Re} < 2000$ )

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

- Si nos encontramos en régimen turbulento ( $\text{Re} > 4000$ ) o zona de transición ( $2000 < \text{Re} < 4000$ ) se utiliza la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

Donde,

k es la rugosidad absoluta, en el caso del polietileno  $k = 0,002 \text{ mm}$

Para la resolución de la fórmula de Colebrook-White se realizan iteraciones, introduciendo sucesivamente un valor de “f” hasta obtener el valor previamente calculado de Re correspondiente.

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:



Tabla 6.32. Pérdidas de carga en circuitos. Fuente: Propia

Pérdidas de carga en circuitos							
Estancia	$m_H (\frac{m^3}{s})$	Stubo ( $m^2$ )	L (m)	$v (\frac{m}{s})$	Re	f	Pérdida (Pa)
Dormitorio 1	9,614E-06	0,000201	71,76	0,0478	1062,63	0,060228	308,84
Dormitorio 2	4,738E-06	0,000201	83,39	0,0236	523,69	0,122209	176,87
Dormitorio 3	4,908E-06	0,000201	87,03	0,0244	542,46	0,117981	191,19
Baño 1	2,860E-06	0,000201	49,39	0,0142	316,07	0,202489	63,23
Baño 2	2,569E-06	0,000201	40,96	0,0128	283,97	0,225373	47,11
Distribuidor	6,645E-06	0,000201	86,80	0,0330	734,39	0,087147	258,17
Cocina	3,715E-05	0,000201	99,30	0,1848	4106,12	0,039728	4209,04
Salón	2,510E-05	0,000201	83,04	0,1249	2774,52	0,044690	1807,89

La mayor pérdida de carga se produce en la cocina: 4.209,04 Pa

$\Delta P_{\text{accesorios}}$ :

Corresponden con las pérdidas de carga debido a la existencia de codos, válvulas, uniones en T, colector... Se estiman según la norma UNE-149201, la cual establece dichas pérdidas como un 30 por ciento de las pérdidas del circuito.

$$\Delta P_{\text{accesorios}} = 0,30 \cdot 4.209,04 = 1.262,71 \text{ Pa}$$

$\Delta P_{\text{bomba-colector}}$ :

Corresponden con las pérdidas de carga que se generan en las tuberías que conectan la bomba y el colector. Para calcularlas, se realizan los cálculos de forma similar a las pérdidas en las tuberías de los circuitos, siendo en este caso el caudal total del agua y una longitud de 4m:

Tabla 6.33. Pérdida de carga bomba-colector. Fuente: propia

Bomba-colector						
$m_H (\frac{m^3}{s})$	Stubo ( $m^2$ )	L (m)	$v (\frac{m}{s})$	Re	f	Pérdida (Pa)
9,359E-05	0,000201	4	0,4655	10343,85	0,030805	834,30

Por tanto, la pérdida de carga que se genera en este tramo es de:

$$\Delta P_{\text{bomba-colector}} = 834,30 \text{ Pa}$$

$\Delta P_{\text{altura}}$ :

La mayor diferencia de altura se produce entre la bomba y el colector. La bomba está situada en el cuarto de instalaciones de la planta inferior, mientras que el colector está situado en la superior. Se estima una diferencia de altura de 3m:

$$P_m = \rho \cdot g \cdot h = 29,311,80 \text{ Pa}$$

Por tanto, la presión total de la instalación es de:

$$\Delta P_{\text{max}} = 35.617,85 \text{ Pa}$$

Para la adecuada elección de la bomba se recurre al fabricante “Wilo”, el cuál proporciona diagramas de curvas características de diferentes bombas, para lo que necesitamos introducir en el diagrama la altura manométrica (3m) y el caudal total en  $\text{m}^3/\text{h}$  (0,34):

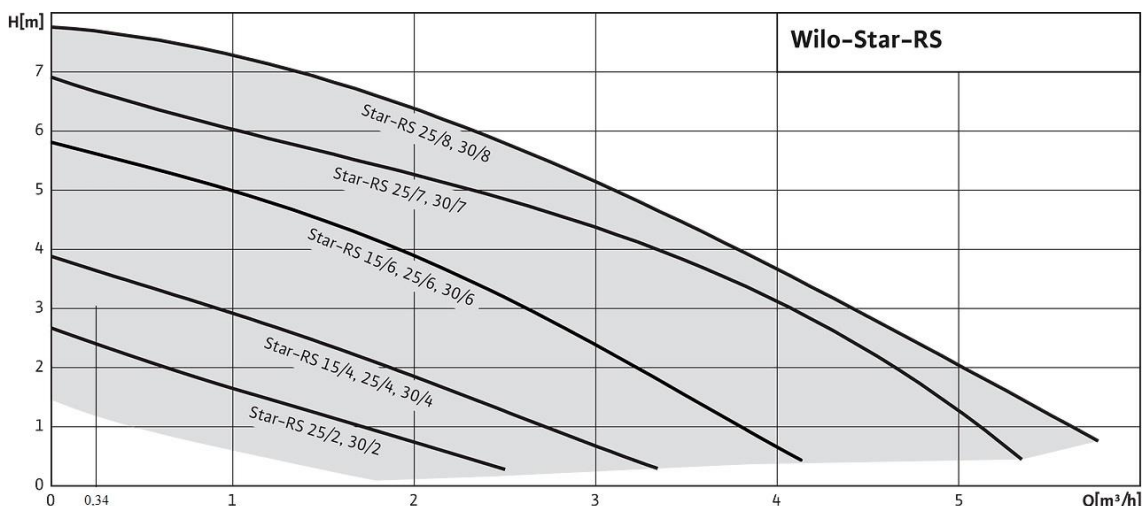


Ilustración 6.21. Curvas características bombas Wilo. Fuente: [www.wilo.com](http://www.wilo.com)

La bomba seleccionada es la “Wilo Star-RS 15/4”.

#### 6.3.3.4. Vaso de expansión

El vaso de expansión es un elemento de seguridad encargado de absorber las dilataciones que se producen en el fluido caloportador con el aumento de temperatura, tanto en el circuito de ACS como en el de calefacción.

El vaso de expansión es un recipiente metálico de forma redondeada o alargada, herméticamente cerrado y cuyo interior se encuentra dividido en dos partes separadas por una membrana elástica e impermeable.





Una parte está en contacto con el fluido y la otra esta rellena de aire o algún gas (normalmente nitrógeno).

Su funcionamiento se basa en que el aumento de presión debido a las dilataciones del fluido presiona la membrana elástica comprimiendo el aire o gas de la otra parte.

De esta forma, es el aire o gas quien adquiere ese aumento de presión, manteniendo esta constante en el circuito.

El cálculo del vaso de expansión se realiza según la norma UNE 100155, la cual establece que el volumen necesario del vaso de expansión se calcula mediante la expresión:

$$V_t = V_{\text{instalación}} \cdot C_e \cdot C_p$$

Donde,

$V_{\text{instalación}}$  es el volumen de agua que se encuentra en la instalación (l). Se ha utilizado el volumen de los circuitos del suelo radiante más el volumen de las tuberías correspondientes a la unión del colector con la bomba de impulsión:

$$V_{\text{instalación}} = \sum \frac{\pi \cdot D_{\text{int}}^2}{4} \cdot L_{\text{total}} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 839,53 + \frac{\pi \cdot 0,0232^2}{4} \cdot 4 = 170,40 \text{ l}$$

$C_e$  es el coeficiente de expansión en función de la temperatura máxima del sistema. Para una temperatura máxima ( $T=34,41^\circ\text{C}$ ) en el intervalo  $30\text{-}70^\circ\text{C}$ , se determina mediante:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-2} = 0,047148$$

$C_p$  es el coeficiente de presiones, determinado mediante:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m}$$

Donde,

$P_M$  es la presión máxima existente en la instalación, corresponde con la presión máxima de la caldera escogida (3 bar)

$P_m$  es la presión correspondiente a la máxima altura geométrica existente en la instalación calculada previamente (bar)

$$P_m = 29,311,80 \text{ Pa} = 0,293 \text{ bar}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$C_p = 1,108$$



Conocidos todos los datos se puede calcular el vaso de expansión:

$$V_t = 170,40 \cdot 0,047148 \cdot 1,108 = 8,90 \text{ l}$$

Se ha escogido el vaso de expansión 11 CMR de 11 litros, de la marca Salvador Escoda.

#### **6.4. APLICACIÓN DEL DB-HE4 CONTRIBUCIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA RENOVABLE PARA CUBRIR LA DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA**

Según lo establecido en el CTE, cuando se utiliza una bomba de calor en la producción de ACS no puede considerarse el 100% de la energía que entrega como renovable. A efectos de garantizar el 60% del consumo total como origen renovable se debe disponer de un rendimiento medio estacional (SCOP) superior a 2,5 cuando las bombas de calor son accionadas eléctricamente. Este valor de SCOP debe ser determinado para temperaturas de preparación de ACS no inferiores a 45°C.

Para calcular el porcentaje de energía renovable entregado por la bomba de calor se realizará según lo establecido en la Directiva de Energías Renovables (2009/28/CE) [32]:

$$E_{RES} = Q_{usable} \cdot (1 - 1/SCOP)$$

Donde,

$E_{RES}$  es la energía procedente de fuentes renovables

$Q_{usable}$  es el calor útil estimado proporcionado por la bomba de calor

SCOP es el rendimiento medio estacional

El valor de SCOP debe ser calculado según lo establecido en la norma UNE-EN 16147:2017 [33], la cual establece el cálculo de este parámetro para bombas de calor con compresor accionado eléctricamente, conectadas o que incluyan un depósito de ACS.

Dicha norma establece que el SCOP para ACS de la bomba corresponde con el COP obtenido en el ensayo para el perfil de extracción máximo definido por el fabricante.

Por tanto, en este caso:  $SCOP = COP = 3,99$

$$E_{RES} = 2.202,14 \cdot (1 - 1/3,99) = 1.650,22 \text{ kWh}$$

Corresponde con un 74,93% del total, por tanto, es una bomba de calor válida.



## 6.5. APLICACIÓN DEL DB-HE5 GENERACIÓN MÍNIMA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Esta sección, para edificios residenciales, sólo es aplicable cuando se supera el límite de consumo establecido en el DB-HE0, por lo que lo primero es calcular el consumo de la vivienda propuesta.

Los cálculos del consumo anual de calefacción se encuentran en el Anexo V.

Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.34. Consumo anual de calefacción. Fuente: propia

Consumo de calefacción	
Mes	Consumo (kWh)
Enero	277,52
Febrero	279,45
Marzo	189,44
Abril	139,97
Mayo	40,54
Junio	2,57
Julio	0,32
Agosto	0,00
Septiembre	0,83
Octubre	11,64
Noviembre	116,50
Diciembre	236,07
Total	1.294,87

Por tanto, deberemos aportar anualmente 1.294,87 kWh para satisfacer las demandas caloríficas.

Como dicha demanda será cubierta por la bomba de calor, no todo este consumo será eléctrico.

Para calcular el consumo de la bomba de calor, es necesario definir el COP y el SCOP:

COP: “coeficiente de operatividad” es un parámetro que indica la potencia calorífica que entrega la bomba en función del consumo eléctrico. Es decir, indica cuantos kW de calor me aporta por cada kW eléctrico consumido para un momento determinado.

SCOP: “coeficiente de eficiencia estacional” es similar al COP, sin embargo, dicho parámetro se refiere a un período de tiempo determinado.

Como se va a calcular el consumo anual se usará el SCOP proporcionado por el fabricante, en este caso 4,71:

$C_{elec.} = \text{Demanda calefacción} / SCOP_{calefacción}$



$$C_{\text{elec}} = 1.294,87/4,71 = 274,92 \text{ kWh}$$

Por tanto, en cuanto al consumo de calefacción tenemos:

$$\begin{array}{l} \text{Demanda anual calefacción } 1.294,87 \text{ kWh} \left\{ \begin{array}{l} 1.019,95 \text{ kWh renovables} \\ 274,92 \text{ kWh no renovables} \end{array} \right. \end{array}$$

Referente al consumo necesario para satisfacer la demanda de ACS, calculado en el apartado anterior, tenemos los siguientes resultados:

$$\begin{array}{l} \text{Demanda anual ACS: } 2.202,14 \text{ kWh} \left\{ \begin{array}{l} 1.650,22 \text{ kWh renovables} \\ 551,92 \text{ kWh no renovables} \end{array} \right. \end{array}$$

En resumen, la vivienda propuesta tiene:

$$C_{\text{vivienda, noren}} = 826,84 \text{ kWh}$$

$$C_{\text{ep, tot}} = 3.497,01 \text{ kWh}$$

Como se puede comprobar, la vivienda tiene unos consumos dentro de los límites establecidos por el CTE y no sería necesaria una instalación fotovoltaica.

Sin embargo, a fin de mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda, se realizará el estudio de viabilidad de 2 instalaciones fotovoltaicas, aprovechando de esta manera la superficie de la cubierta.

### 6.5.1. Instalación fotovoltaica 1

Para comenzar con el dimensionamiento de la instalación, lo primero es establecer la demanda que debe cubrir.

La primera instalación que se propone es con la finalidad de suministrar la totalidad de la energía necesaria para un coche eléctrico, aprovechando que debido al Real Decreto 1053/2014 [34] se establece como obligatoriedad en viviendas de nueva construcción la preinstalación de un punto de recarga.

Para estimar la demanda que genera el coche eléctrico, se supone un consumo de 15 kWh/100 km y 20.000 km anuales, por lo que requerimos:

$$C_{\text{coche, año}} = 15 \text{ kWh}/100 \cdot 20.000 = 3.000 \text{ kWh anuales}$$



Para realmente satisfacer este consumo, se le aplicará un 20% de margen de seguridad recomendado, debido a pérdidas por rendimiento de la batería o el inversor, por ejemplo.

$$E_{\text{paneles}} = 3.000 \cdot 1,2 = 3.600 \text{ kWh}$$

Si recorremos anualmente 20.000 km, de media diaria son 54,80 km. Por lo que el coche consume diariamente:

$$C_{\text{coche, dia}} = 15/100 \cdot 54,80 = 8,22 \text{ kWh}$$

Una vez obtenido el consumo que debe cubrir la instalación se requieren los datos de la radiación solar de la ubicación de la vivienda, para lo que recurriremos a la aplicación PVGIS.

Introduciendo la ubicación, obtendremos la radiación anual para diferentes ángulos de inclinación:

Tabla 6.35. Radiación según inclinación. Fuente: propia

		Inclinación				
Mes		30°	35°	40°	50°	60°
Irradiación sobre plano (kWh/m <sup>2</sup> )	Enero	70,87	74,00	76,69	80,64	82,58
	Febrero	86,50	89,13	91,24	93,79	94,06
	Marzo	129,43	131,15	132,11	131,72	128,22
	Abril	146,17	145,55	144,14	138,98	130,82
	Mayo	153,89	151,20	147,73	138,81	127,18
	Junio	157,72	154,06	149,66	138,88	125,50
	Julio	165,00	161,64	157,60	146,98	133,54
	Agosto	159,96	158,37	155,93	148,51	137,95
	Septiembre	147,61	148,68	148,89	146,70	141,07
	Octubre	119,59	122,71	125,10	127,57	126,90
	Noviembre	76,45	79,59	82,24	86,00	87,62
	Diciembre	75,56	79,55	83,05	88,43	91,53
	Total	1.488,75	1.495,63	1.494,38	1.467,01	1.406,97

Como se muestra en la tabla, la inclinación que más radiación recibe anualmente corresponde con 35°.

Para el dimensionamiento, se escogerá el mes que menor radiación recibe para una inclinación de 35°, aunque ello conlleve a un sobredimensionamiento en los meses de mayor radiación.

En este caso, enero corresponde con el mes de menor radiación (74 kWh/m<sup>2</sup>).

A partir de este dato se debe calcular la “hora solar pico” (HSP). Esta indica la cantidad de horas diarias que el panel recibe una cantidad de irradiancia equivalente a 1000 W/m<sup>2</sup>.



En este caso:

74 kWh/m<sup>2</sup> para enero = 2,39 kWh/m<sup>2</sup> al día

$$HSP = \frac{2,39 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 2,39 \text{ h}$$

Conocida la hora solar pico, la demanda a cubrir y la potencia del panel a instalar se puede calcular el número de módulos necesarios:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\text{Energía diaria}}{HSP \times \eta \times P_{\text{placa}}}$$

Donde,

HSP es la cantidad de horas diarias que el panel recibe una cantidad de irradiancia equivalente a 1000 W/m<sup>2</sup>

$\eta$  es el rendimiento de la captación solar, se considera de 0,90 debido a factores ambientales

P.placa es la potencia pico de la placa, siendo la del modelo utilizado 455 W

Las placas escogidas son Panel Solar 455W JA Solar Mono Perc, por lo que:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{\frac{3.600}{365} \text{ kWh}}{2,39 \text{ h} \times 0,9 \times 455 \text{ W}} = 10,07 \rightarrow 10 \text{ módulos}$$

Además, como no podemos escoger la hora a la que el sistema nos suministra la energía, se escogen cuatro baterías de litio “Pylontech 48 V” de 2,4 kWh, las cuales almacenan como energía útil 2,2 kWh, resultando un total de 8,8 kWh, lo que nos permite suministrar la totalidad de la energía demandada por el coche.

La instalación se dimensiona para el mes más desfavorable, sin embargo, anualmente la producción es mayor, por lo que tendremos excedentes. Realizar un dimensionamiento de baterías capaz de almacenar dichos excedentes carece de sentido debido al precio elevado de estas, por lo que dichos excedentes serán acogidos a compensación según lo dispuesto en el RD 244/19 [35] por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.

Estar sometidos a compensación implica que el consumo mensual de kWh será como mínimo 0, es decir, no se gana dinero si no que se ahorra en la factura, por lo que el consumo se estudiará mensualmente para comprobar que no existan “perdidas”.

En la siguiente tabla se muestra la producción y los excedentes que se generan de forma mensual, teniendo en cuenta que consumimos diariamente la energía almacenada en las baterías:



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Tabla 6.36. Producción supuesto 1. Fuente: Propia.

Producción eléctrica supuesto 1					
Mes	Radiación (kWh/m <sup>2</sup> )	Días	HSP	kWh/día	Excedente mensual
Enero	74	31	2,39	8,21	0,00
Febrero	89,13	28	3,18	10,95	60,19
Marzo	131,15	31	4,23	14,55	178,33
Abril	145,55	30	4,85	16,69	236,66
Mayo	151,2	31	4,88	16,78	247,30
Junio	154,06	30	5,14	17,66	265,94
Julio	161,64	31	5,21	17,94	283,21
Agosto	158,37	31	5,11	17,57	271,96
Septiembre	148,68	30	4,96	17,05	247,43
Octubre	122,71	31	3,96	13,62	149,30
Noviembre	79,59	30	2,65	9,13	9,77
Diciembre	79,55	31	2,57	8,83	0,84

Suponiendo que el 30% de los excedentes los consumimos y el 70% se vuelcan a red:

Tabla 6.37. Electricidad anual. Fuente: Propia.

Electricidad anual			
Mes	Excedente (kWh)	Volcado (kWh)	Consumido (kWh)
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	60,19	42,13	18,06
Marzo	178,33	124,83	53,50
Abril	236,66	165,66	71,00
Mayo	247,30	173,11	74,19
Junio	265,94	186,16	79,78
Julio	283,21	198,25	84,96
Agosto	271,96	190,37	81,59
Septiembre	247,43	173,20	74,23
Octubre	149,30	104,51	44,79
Noviembre	9,77	6,84	2,93
Diciembre	0,84	0,59	0,25
Total anual		1.365,651	585,279

Anualmente, según IDAE el consumo eléctrico medio de una vivienda unifamiliar con caldera de gas es de 3.754 kWh.

Se supone un consumo eléctrico del uso de la vivienda equitativo, por lo que mensualmente:

$$C_{elecmes} = 3.754/12 = 312,83 \text{ kWh}$$





En la vivienda propuesta todo el consumo es eléctrico, por lo que habrá que sumarle los consumos (eléctricos) referentes a la producción de agua caliente sanitaria y calefacción.

Todos los cálculos referentes a este apartado se encuentran en Anexo VI.

Los consumos de la vivienda de forma mensual se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.38. Consumo eléctrico mensual. Fuente: Propia.

Consumo eléctrico por meses			
Mes	Q <sub>ACS</sub> (kWh)	Q <sub>cale</sub> (kWh)	Q <sub>elec</sub> (kWh)
Enero	50,47	58,92	422,22
Febrero	45,59	59,33	417,75
Marzo	49,21	40,22	402,26
Abril	47,62	29,72	390,17
Mayo	46,68	8,61	368,12
Junio	42,74	0,55	356,11
Julio	42,90	0,07	355,80
Agosto	42,90	0,00	355,73
Septiembre	41,52	0,18	354,52
Octubre	45,42	2,47	360,72
Noviembre	46,40	24,73	383,97
Diciembre	50,47	50,12	413,42

El gasto mensual de electricidad se calculará teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Potencia facturada: nº días · 0,12 €

Energía facturada: kWh consumidos · 0,13 € - kWh volcados · 0,05 €

Impuesto sobre la electricidad: 5,113% · (Potencia facturada + energía facturada)

Al total, se le suma 21% de I.V.A

El total a facturar se resume en la siguiente tabla:

Tabla 6.39. Gasto anual supuesto 1. Fuente: Propia.

Gasto de electricidad supuesto 1					
Mes	Elec. Total (kWh)	Volcado (kWh)	Consumido (kWh)	Elec. a facturar (kWh)	Gasto (€)
Enero	422,22	0,00	0,00	422,22	137,56
Febrero	417,75	42,13	18,06	399,69	124,92



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*

Marzo	402,26	124,83	53,50	348,76	99,35
Abril	390,17	165,66	71,00	319,17	84,94
Mayo	368,12	173,11	74,19	293,93	76,26
Junio	356,11	186,16	79,78	276,33	68,99
Julio	355,80	198,25	84,96	270,83	65,95
Agosto	355,73	190,37	81,59	274,14	67,94
Septiembre	354,52	173,2	74,23	280,29	71,80
Octubre	360,72	104,51	44,79	315,93	91,48
Noviembre	383,97	6,84	2,93	381,03	123,62
Diciembre	413,42	0,59	0,25	413,17	134,64
					1.147,45

De esta forma, con la instalación fotovoltaica supone un gasto anual de 1.147,45 € y el ahorro que supone en combustible del coche.

Para facilitar la visualización sobre la viabilidad de este supuesto, se propone una comparativa en diferentes escenarios:

1. El gasto de electricidad más el gasto que supone el combustible de un coche de combustión, suponiendo un consumo de 5l/100 km, un coste de 1,3 €/l y un desplazamiento anual de 20.000 km
2. El gasto de electricidad más el gasto que supone la alimentación de un coche eléctrico, suponiendo un consumo de 15 kWh/100 km, con un coste de 0,13 €/kWh y un desplazamiento anual de 20.000 km
3. El gasto de electricidad, teniendo en cuenta la instalación fotovoltaica sin baterías, con un volcado de excedentes del 70% y un consumo de la producción del 30% más el gasto que supone la alimentación de un coche eléctrico con las condiciones anteriormente descritas.
4. El caso ejemplo

Para esta comparativa, se supone un sobre coste en el precio del coche eléctrico sobre el de combustión de 5.000 €, siendo 25.000 € para el de combustión y 30.000 € para el eléctrico.

La instalación sin baterías tiene un coste de 4.064 € y con baterías asciende a 7.500 €, mientras que la instalación del punto de carga supone 400 €.

La vida útil de las baterías de los coches es de alrededor de 10 años, mientras que la instalación fotovoltaica supera los 20 por lo que se realizará la simulación para 10 y para 20 años (suponiendo la compra de un vehículo nuevo) a fin de comprobar la rentabilidad de la instalación.



Todos los cálculos referentes a este apartado se encuentran en Anexo VI.

Los resultados obtenidos son resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 6.40. Resumen supuesto 1. Fuente: Propia.

	Resumen supuesto 1			
	Sin paneles		Con paneles	
	Comb.	Elec.	Sin baterías	Con baterías
Coche	25.000,00	30.000,00	30.000,00	30.000,00
Instalación	0,00	0,00	4.464,00	7.900,00
Combustible	1.300,00	0,00	0,00	0,00
Gasto elec. Anual	1.496,83	2.440,72	1.519,41	1.147,45
Total	27.796,83	32.440,72	35.983,41	39.047,45
Total tras 10 años	52.968,26	54.407,20	49.658,13	49.374,53
Total tras 20 años	105.936,52	108.814,40	94.852,26	90.849,07

Como se puede apreciar, tras 20 años de la instalación supondría un ahorro máximo de 15.084,45 €, suponiendo que no decaiga el rendimiento de esta.

### 6.5.2. Instalación fotovoltaica 2

La segunda instalación que se propone es más sencilla y se realizará de forma análoga a la anterior.

En este caso, la demanda será el consumo eléctrico de las instalaciones de la vivienda (la bomba de calor). Por tanto, los paneles deberán satisfacer una demanda de 826,84 kWh anuales, de tal forma que el edificio sería climáticamente neutro.

Aplicando el 20% de seguridad:

$$\text{Instalación fotovol.} = 826,84 \cdot 1,2 = 992,21 \text{ kWh}$$

Los paneles escogidos para la instalación son Panel Solar 400W PERC Monocristalino ERA, por lo que:

$$\text{Nº de módulos} = \frac{\frac{992,21}{365} \text{ kWh}}{2,39 \text{ h} \times 0,9 \times 400 \text{ W}} = 3,16 \rightarrow 4 \text{ módulos}$$

La producción de estos paneles se resume en la siguiente tabla:



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Tabla 6.41. Producción eléctrica supuesto 2. Fuente: Propia.

Producción eléctrica supuesto 2					
Mes	Radiación (kWh/m <sup>2</sup> )	Días	HSP	kWh/día	kWh/mes
Enero	74	31	2,39	3,44	106,56
Febrero	89,13	28	3,18	4,58	128,35
Marzo	131,15	31	4,23	6,09	188,86
Abril	145,55	30	4,85	6,99	209,59
Mayo	151,2	31	4,88	7,02	217,73
Junio	154,06	30	5,14	7,39	221,85
Julio	161,64	31	5,21	7,51	232,76
Agosto	158,37	31	5,11	7,36	228,05
Septiembre	148,68	30	4,96	7,14	214,1
Octubre	122,71	31	3,96	5,7	176,7
Noviembre	79,59	30	2,65	3,82	114,61
Diciembre	79,55	31	2,57	3,7	114,55

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores de 70% volcado a red y 30% autoconsumo, al carecer de baterías tendríamos los siguientes resultados:

Tabla 6.42. Gasto de electricidad supuesto 2. Fuente: Propia.

Gasto de electricidad supuesto 2						
Mes	Elec. Total (kWh)	kWh/mes	Volcado (kWh)	Consumido (kWh)	elec. a facturar (kWh)	Gasto (€)
Enero	422,22	106,56	74,59	31,97	390,25	118,48
Febrero	417,75	128,35	89,84	38,5	379,24	112,71
Marzo	402,26	188,86	132,2	56,66	345,6	97,46
Abril	390,17	209,59	146,71	62,88	327,29	89,79
Mayo	368,12	217,73	152,41	65,32	302,8	81,55
Junio	356,11	221,85	155,29	66,55	289,56	76,88
Julio	355,8	232,76	162,93	69,83	285,97	74,98
Agosto	355,73	228,05	159,64	68,42	287,31	75,8
Septiembre	354,52	214,1	149,87	64,23	290,29	77,77
Octubre	360,72	176,7	123,69	53,01	307,71	86,57
Noviembre	383,97	114,61	80,23	34,38	349,58	104,85
Diciembre	413,42	114,55	80,19	34,37	379,06	114,28
						1.111,14

Por tanto, el gasto eléctrico anual sería de 1.111,14 €.



En la siguiente tabla se comparan los gastos con y sin la instalación fotovoltaica, a fin de comprobar la viabilidad de esta y el período de amortización necesario:

Tabla 6.43. Amortización supuesto 2. Fuente: Propia.

	Amortización	
	No panel	Panel
Inst.	0,00	1.350,00
gasto elec.	1.496,83	1.111,14
Total 5 años	7.484,15	6.905,69
Total 10 años	14.968,30	12.461,39
Total 20 años	29.936,60	23.572,79

Como se puede observar, a los 5 años ya se ha rentabilizado la inversión de la instalación, existiendo un ahorro de 6.363,81 € a los 20 años.

Comparando ambas instalaciones, el ahorro es de:

Supuesto 1:  $15.084,45 - 7.900,00 = 7.184,45$  €

Supuesto 2:  $6.363,81 - 1.350,00 = 5.013,81$  €

Se escoge dimensionar la segunda instalación debido a que supone una menor inversión, además de la incertidumbre que genera la vida útil de las baterías de la primera, lo que implica seguramente un rendimiento menor al calculado.

#### 6.5.2.1. Inversor

Las placas solares transforman la energía solar que reciben en energía eléctrica, sin embargo, lo producen en corriente continua. El inversor es el encargado de transformar esta corriente continua en corriente alterna de modo que podamos utilizarla en la vivienda.

Además, se encargan de mantener la tensión generada por las placas por encima de la de la red, anteponiendo el uso de la energía fotovoltaica, y nos permite volcar a la red el excedente de energía en caso necesario.

La potencia del inversor deberá ser de:

$$P_{inv} = 1,1 \cdot N \cdot P_p$$

Donde,

1,1 es un factor de seguridad

N es el número de paneles

$P_p$  es la potencia de cada panel

$$P_{inv} = 1,1 \cdot 4 \cdot 400 = 1.760 \text{ W}$$

#### 6.5.2.2. Conexión

##### Conexión en serie:

Los paneles pueden ser conectados en serie, consiguiendo de esta forma un aumento de la tensión, manteniendo la intensidad. Es decir, la asociación en serie es un sumatorio de las tensiones de los paneles conectados. Se realiza conectando el polo positivo de un panel con el negativo del siguiente [36].

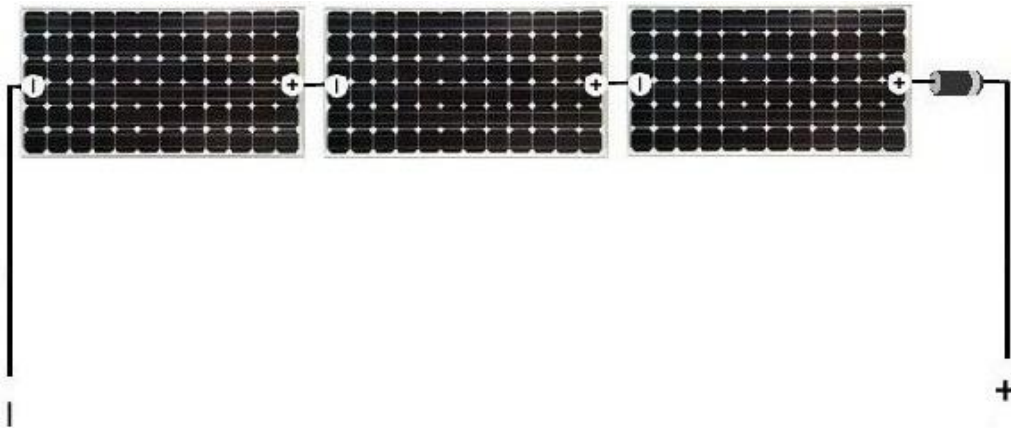


Ilustración 6.22. Conexión paneles en serie. Fuente: [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com)

##### Conexión en paralelo:

La conexión en paralelo, en cambio, consiste en un sumatorio de la intensidad de los paneles conectados, manteniendo la tensión constante. Se realiza conectando todos los polos positivos de los paneles en una rama y todos los negativos en otra.

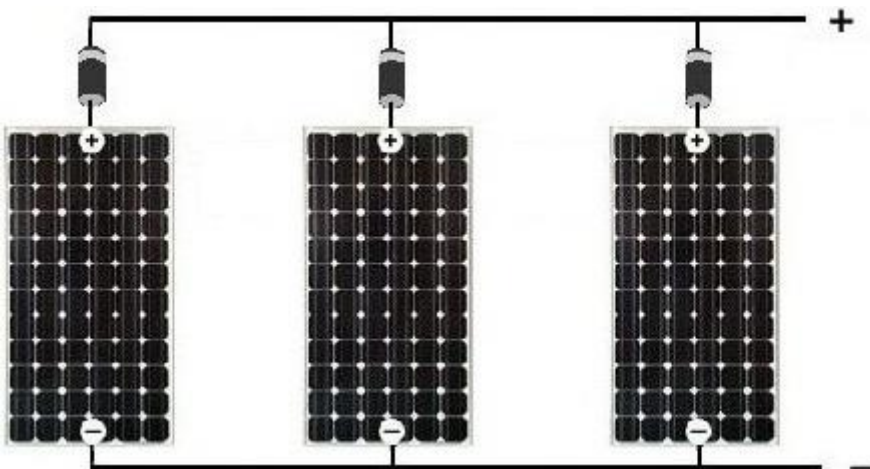


Ilustración 6.23. Conexión en paralelo. Fuente: [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com)

### Conexión mixta:

Se trata de una combinación de las dos anteriores. Dicha conexión nos permite realizar un mayor número de configuraciones.

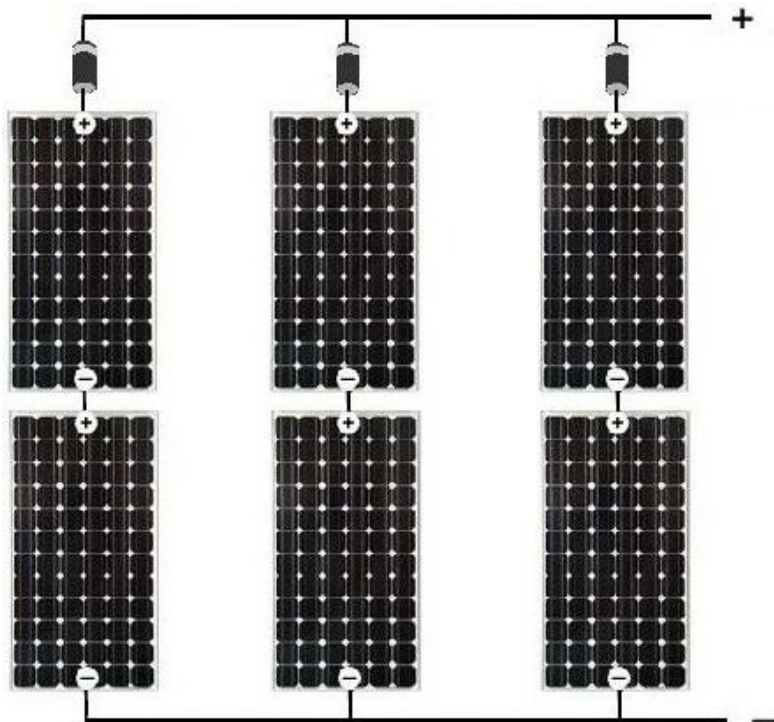


Ilustración 6.24. Conexión mixta paneles. Fuente: [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com)

La forma de conectarlos varía según la tensión e intensidad que admita el regulador escogido.

En este caso, se conectarán dos ramas en paralelo de dos paneles en serie por cada rama, resultando:

Tensión máxima del campo fotovoltaico:  $V_{max} = V_{mpp} \cdot 2 = 41,7 \cdot 2 = 83,4 \text{ V}$

Intensidad máxima del campo fotovoltaico:  $I_{max} = I_{mpp} \cdot 2 = 9,60 \cdot 2 = 19,2 \text{ A}$

Es decir, la potencia de la instalación correspondería con:

$$P = V \cdot I = 83,4 \cdot 19,2 = 1.601,28 \text{ W}$$

Verificándose con el valor teórico de esta:  $P = N^{\circ} \text{ paneles} \cdot P_{\text{panel}} = 4 \cdot 400 = 1.600 \text{ W}$



### 6.5.2.3. Separación entre paneles

En este apartado se calcula la distancia mínima entre ambas filas de paneles para evitar que se proyecten sombras entre ellas. Las dimensiones del panel propuesto son de: 1979x1002 mm [37].

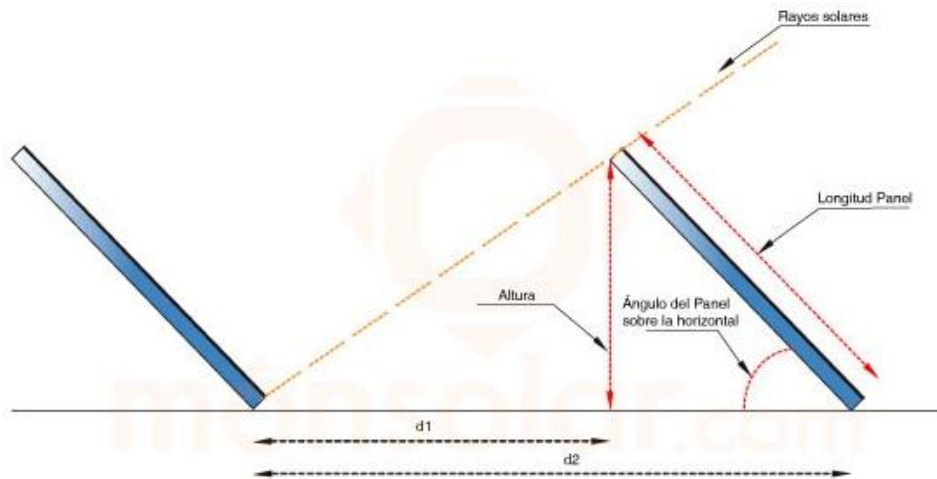


Ilustración 6.25. Distancia entre paneles. Fuente: [www.monsolar.com](http://www.monsolar.com)

La distancia entre filas se calcula como:

$$d1 = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$$

Donde,

h es la altura del panel sobre la horizontal para un ángulo de 35°, por tanto:

$$h = 1 \cdot \sin 35^\circ = 1979 \cdot \sin 35^\circ = 1.135,11 \text{ mm}$$

La latitud en la que se ubica la vivienda es de 43°25'42''

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$d1 = \frac{1.135,11}{\tan(61 - 43^\circ 25' 42'')} = 3.658,28 \text{ mm}$$

Mientras que la distancia d2 se calcularía como:

$$d2 = d1 + 1 \cdot \cos 35^\circ = 3.658,28 + 1979 \cdot \cos 35^\circ = 5.279,38 \text{ mm}$$

Por lo que los paneles deberán estar separados 5,28 m para evitar sombras entre ellos.

Además, la superficie que ocupan es de:  $5,28 \cdot 2 \cdot 1,002 = 10,58 \text{ m}^2$



#### 6.5.2.4. Cableado

El cableado tiene que ser diseñado teniendo en cuenta las condiciones de cada tramo de la instalación. En primer lugar, se debe tener en cuenta las condiciones eléctricas en cada punto, es decir, la tensión e intensidad. Otro parámetro a tener en cuenta a fin de minimizar las caídas de tensión es la longitud del cable, teniendo que recurrir a secciones grandes en caso de tener tramos de gran longitud.

En el caso propuesto la instalación es muy compacta, por lo que no serán necesarios tramos muy largos de cable y, por ende, no se requerirán secciones muy grandes.

Para el cálculo de las secciones de cada tramo, se utilizará la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\Delta V \cdot K}$$

Donde,

S es la sección del cable (mm<sup>2</sup>)

L es la longitud del cable (m)

I es la intensidad máxima de la corriente en el cable (A)

$\Delta V$  es la caída de tensión máxima para ese tramo del cable (V)

K es la conductividad eléctrica del cable (m/Ωmm<sup>2</sup>)

Siguiendo las indicaciones del “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red” de IDAE [38], la caída de tensión permitida es de 1,5 % que, siendo la instalación de 48 V la caída de tensión permitida es de 0,72 V.

Los cables usados serán de cobre, cuya conductividad varía en función de la temperatura. Habitualmente se escoge la conductividad para una temperatura de 20 °C siendo:  $k = 56$  m/Ωmm<sup>2</sup>

Cableado desde los paneles hasta el inversor:

Para este tramo se estima una longitud máxima de 7 metros, mientras que la intensidad de este tramo corresponde con la intensidad máxima calculada previamente (19,2 A).

Por tanto:

$$S = \frac{2 \cdot 7 \cdot 19,2}{0,72 \cdot 56} = 6,66 \text{ mm}^2$$



Esta es la sección mínima necesaria. Se debe escoger la normalizada inmediatamente superior cuyas medidas según la norma UNE-EN 60228 [39]:

Cobre	mm <sup>2</sup>
	1,5
	2,5
	4
	6
	10
	16
	25
	35
	50
	70
	95
	120
	150
	185
	240
	300

*Ilustración 6.26. Secciones normalizadas. Fuente: ITC-BT-19*

La sección normalizada inmediatamente superior es de 10 mm<sup>2</sup>.

Cableado entre paneles:

En este tramo se tendrá en cuenta sólo la distancia de los paneles entre filas, puesto que es la mayor:

Distancia entre paneles= 5,30 m

$$S = \frac{2 \cdot 5,30 \cdot 19,2}{0,72 \cdot 56} = 5,04 \text{ mm}^2 \rightarrow 6 \text{ mm}^2$$



## 7. CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

En este apartado se evaluará la vivienda propuesta usando el programa “CE3X”, el cual es un programa oficial que ha sido reconocido por el Ministerio de Fomento y por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Este programa recoge los datos referentes a la vivienda, tales como la envolvente térmica y sus instalaciones. Con esos datos procede a evaluar la vivienda y emitir el certificado de calificación energética.

### 7.1. DATOS GENERALES

En esta sección se introducen los datos generales de la vivienda, tales como la ubicación, su superficie habitable, demanda de ACS y la normativa vigente.

**Datos generales**

Normativa vigente	CTE 2013	?	Año construcción	2021
Tipo de edificio	Unifamiliar			
Provincia/Ciudad autónoma	Cantabria	Localidad	Otro	Zona climática
			Tagle	HE-1 C1 HE-4 I

**Definición edificio**

Superficie útil habitable	118.8	m <sup>2</sup>
Altura libre de planta	3	m
Número de plantas habitables	1	
Ventilación del inmueble	0.35	ren/h
Demanda diaria de ACS	140	l/día
Masa de las particiones internas	Media	

Ilustración 7.1. Datos generales CE3X. Fuente: Propia

### 7.2. CUBIERTA

Seguidamente definimos la envolvente térmica de la vivienda, comenzando con la cubierta.

Primero, especificamos la composición de esta, así como los espesores de los materiales.

El programa calcula automáticamente la resistencia térmica en función de los datos introducidos que, como se puede comprobar, corresponden con los usados:

Cerramientos

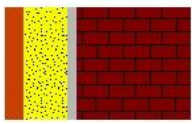
**Cerramientos**  
 BD cerramientos  
 Cerramientos del Proyecto  
   Cubierta  
   Fachada

### Librería de cerramientos

Nombre:

**Características del cerramiento**  
 Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m <sup>2</sup> K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kgK)
Arena y grava [1700 ...	Pétreos y suelos	0.025	0.05	2	1450	1050
Cloruro de polivinilo [...	Plásticos	0.012	0.002	0.17	1390	900
EPS Poliestireno Expa...	Aislantes	4.138	0.12	0.029	30	1000
Betún fieltro o lámina	Bituminosos	0.013	0.003	0.23	1100	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.019	0.025	1.3	1900	1000
FR Entrevigado de EP...	Forjados reticulares	0.284	0.3	1.056	1460	1000



$R1 + \dots + Rn$   
 4.49 m<sup>2</sup>K/W

**Características del material**

Grupo de materiales:   
 Material:   
 Espesor:  m    λ:  W/mK  
 ρ:  kg/m<sup>3</sup>    Calor específico:  J/kgK

Añadir  
 Modificar  
 Borrar  
 Limpiar campos

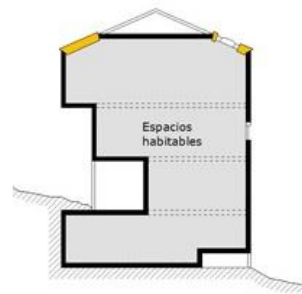
Cargar al proyecto  
 Guardar cerramiento  
 Modificar cerramiento  
 Borrar cerramiento

Ilustración 7.2. Datos cubierta CE3X. Fuente: Propia

Seguidamente se introducen otras variables, como la superficie de transmisión de la cubierta:

### Envoltente térmica del edificio

- ☒ Cubierta    ☐ Enterrada  
☐ Muro    ☒ En contacto con el aire  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☐ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



### Cubierta en contacto con el aire

Nombre:

Zona:

**Dimensiones**

Superficie:  m<sup>2</sup>

Longitud:  m

Anchura:  m

**Características**

Patrón de sombras:

**Parámetros característicos del cerramiento**

Propiedades térmicas:

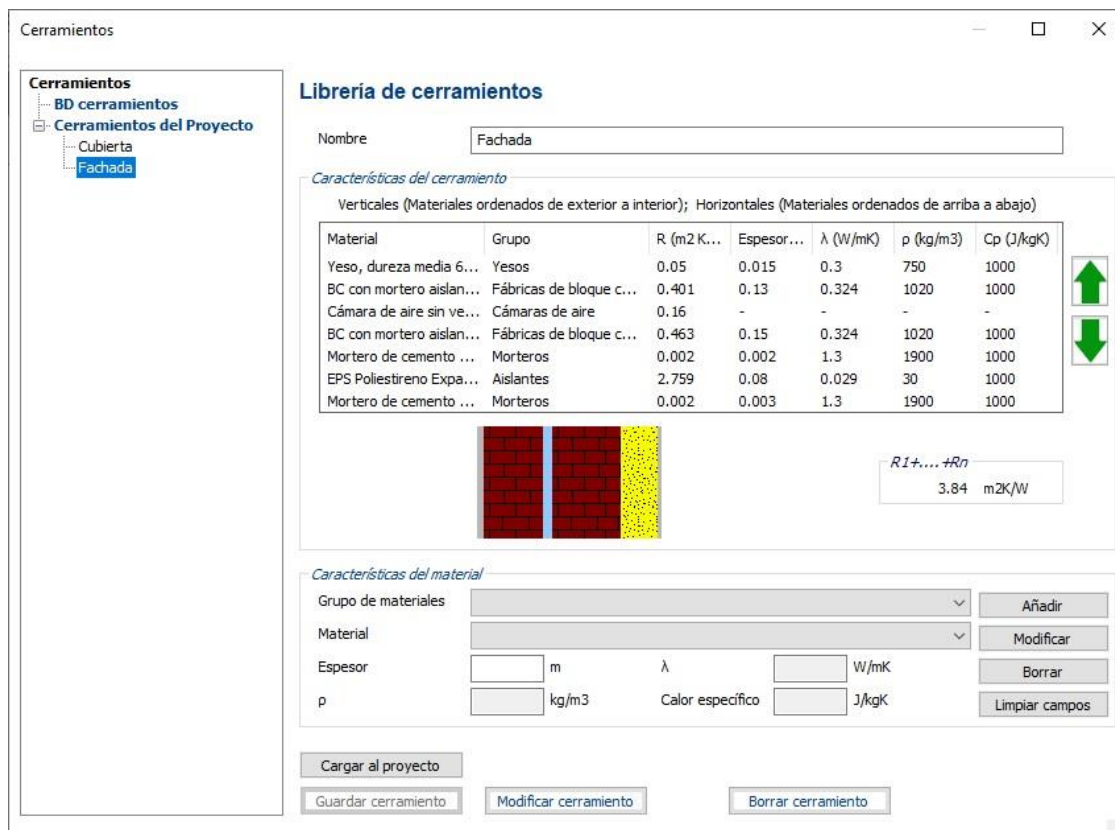
Transmitancia térmica:  W/m<sup>2</sup>K

☐ Transmitancia térmica:  W/m<sup>2</sup>K    Masa/m<sup>2</sup>:  kg/m<sup>2</sup>  
☒ Librería cerramientos:

Ilustración 7.3. Transmisión cubierta CE3X. Fuente: Propia

### 7.3. FACHADA

La definición de la fachada se realiza de forma análoga a la cubierta, sin embargo, luego se especificará la orientación de cada fachada, así como de la existencia de huecos en ellas:



Material	Grupo	R (m2 K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m3)	Cp (J/kgK)
Yeso, dureza media 6...	Yesos	0.05	0.015	0.3	750	1000
BC con mortero aislan...	Fábricas de bloque c...	0.401	0.13	0.324	1020	1000
Cámara de aire sin ve...	Cámaras de aire	0.16	-	-	-	-
BC con mortero aislan...	Fábricas de bloque c...	0.463	0.15	0.324	1020	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.002	0.002	1.3	1900	1000
EPS Poliestireno Expa...	Aislantes	2.759	0.08	0.029	30	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.002	0.003	1.3	1900	1000

Ilustración 7.4. Datos fachadas CE3X. Fuente: Propia

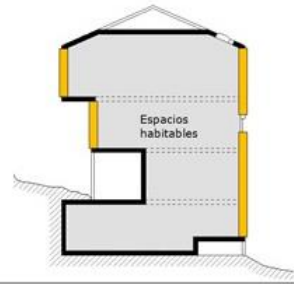
#### 7.3.1. Fachada norte

Primero se introducen los datos de la orientación, superficie de transmisión de calor (envolvente térmica), y se especifica que está en contacto directamente con el aire exterior (muro de fachada).

Posteriormente, se especificarán los diferentes huecos existentes en ella:

### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☒ Muro ☐ En contacto con el terreno  
☐ Suelo ☒ De fachada  
☐ Partición interior ☐ Medianería  
☐ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



### Muro de fachada

Nombre	Muro de fachada norte	Zona	Edificio Objeto
<b>Dimensiones</b> Superficie: 49.83 m <sup>2</sup> Longitud: m Altura: m		<b>Características</b> Orientación: Norte Patrón de sombras: Sin patrón	
<b>Parámetros característicos del cerramiento</b> Propiedades térmicas: Conocidas Transmisión térmica: 0.25 W/m <sup>2</sup> K Masa/m <sup>2</sup> : kg/m <sup>2</sup> Librería cerramientos: Fachada			

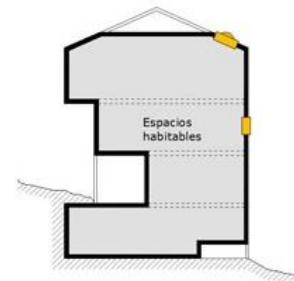
Ilustración 7.5. Fachada norte CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.1.1. Ventana dormitorio 1

Ahora se definen los diferentes huecos existentes, en los que hay que introducir los valores como el tamaño de este, su transmitancia térmica, su factor solar...

### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



### Hueco/Lucernario

Nombre	Hueco	Cerramiento asociado	Muro de fachada norte	Orientación	Norte
<b>Dimensiones</b> Longitud: 1.6 m Altura: 1.2 m Multiplicador: 1 Superficie: 1.92 m <sup>2</sup> Porcentaje de marco: 32.3 %		<b>Características</b> Permeabilidad del hueco: Estanco 50 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> Absortividad del marco: 0.75 <input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar Patrón de sombras: Sin patrón <input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana			
<b>Parámetros característicos del hueco</b> Propiedades térmicas: Conocidas U vidrio: 1.5 W/m <sup>2</sup> K g vidrio: 0.4 U marco: 0.9 W/m <sup>2</sup> K					

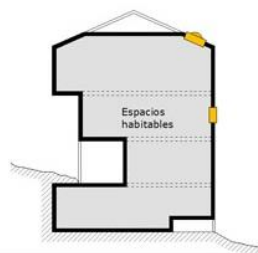
Ilustración 7.6. Ventana dormitorio 1 CE3X. Fuente: Propia



### 7.3.1.2. Ventana distribuidor fachada norte

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

Nombre: Hueco2  
 Cerramiento asociado: Muro de fachada norte  
 Orientación: Norte

Dimensiones		Características	
Longitud	1 m	Permeabilidad del hueco	Estanco 50 m3/hm2
Altura	1.2 m	Absortividad del marco	α 0.75
Multiplicador	1	<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar
Superficie	1.2 m2	Patrón de sombras	Sin patrón
Porcentaje de marco	33.3 %	<input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana	

**Parámetros característicos del hueco**  
 Propiedades térmicas: Conocidas

U vidrio	1.5 W/m2K
g vidrio	0.4
U marco	0.9 W/m2K

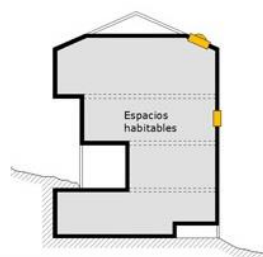
Ilustración 7.7. Ventana distribuidor norte CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.1.3. Ventanas baños

En este caso, al ser dos ventanas similares, se indica mediante la opción “multiplicador”:

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

Nombre: Hueco3  
 Cerramiento asociado: Muro de fachada norte  
 Orientación: Norte

Dimensiones		Características	
Longitud	0.7 m	Permeabilidad del hueco	Estanco 50 m3/hm2
Altura	1.2 m	Absortividad del marco	α 0.75
Multiplicador	2	<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar
Superficie	1.68 m2	Patrón de sombras	Sin patrón
Porcentaje de marco	40.5 %	<input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana	

**Parámetros característicos del hueco**  
 Propiedades térmicas: Conocidas

U vidrio	1.5 W/m2K
g vidrio	0.4
U marco	0.9 W/m2K

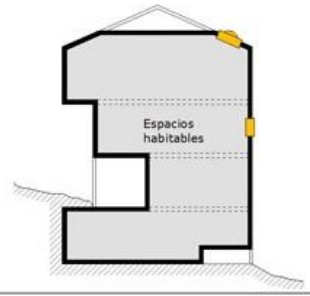
Ilustración 7.8. Ventanas baños CE3X. Fuente: Propia



### 7.3.1.4. Ventanal fachada norte

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

Nombre	ventanal		
Cerramiento asociado	Muro de fachada norte	Orientación	Norte

<b>Dimensiones</b>		<b>Características</b>	
Longitud	4.1 m	Permeabilidad del hueco	Estanco 50 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Altura	4 m	Absortividad del marco	0.75
Multiplicador	1	<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar
Superficie	16.4 m <sup>2</sup>	Patrón de sombras	Sin patrón
Porcentaje de marco	16.5 %	<input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana	

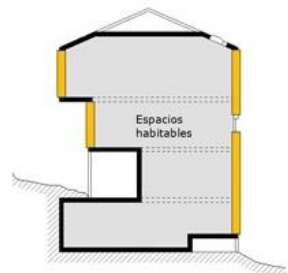
<b>Parámetros característicos del hueco</b>	
<b>Propiedades térmicas</b>	Conocidas
U vidrio	1.5 W/m <sup>2</sup> K
g vidrio	0.4
U marco	0.9 W/m <sup>2</sup> K

Ilustración 7.9. Ventanal norte CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.2. Fachada este

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☒ Muro
 ☐ En contacto con el terreno  
☐ Suelo
 ☒ De fachada  
☐ Partición interior  
☐ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Muro de fachada

Nombre	Muro de fachada este	Zona	Edificio Objeto
--------	----------------------	------	-----------------

<b>Dimensiones</b>		<b>Características</b>	
Superficie	40.07 m <sup>2</sup>	Orientación	Este
Longitud	m	Patrón de sombras	Sin patrón
Altura	m		

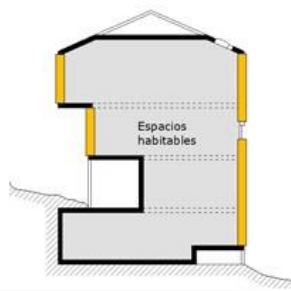
<b>Parámetros característicos del cerramiento</b>	
<b>Propiedades térmicas</b>	Conocidas
Transmitancia térmica	0.25 W/m <sup>2</sup> K
Masa/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
<input checked="" type="radio"/> Librería cerramientos	Fachada

Ilustración 7.10. Fachada este CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.3. Fachada oeste

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☒ Muro ☐ En contacto con el terreno  
☐ Suelo ☒ De fachada  
☐ Partición interior ☐ Medianería  
☐ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Muro de fachada

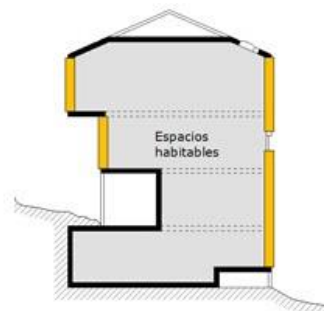
Nombre	Muro de fachada Oeste	Zona	Edificio Objeto
<b>Dimensiones</b> Superficie: 14.49 m <sup>2</sup> Longitud: m Altura: m		<b>Características</b> Orientación: Oeste Patrón de sombras: Sin patrón	
<b>Parámetros característicos del cerramiento</b> Propiedades térmicas: Conocidas Transmisión térmica: 0.25 W/m <sup>2</sup> K Masa/m <sup>2</sup> : kg/m <sup>2</sup> Librería cerramientos: Fachada			

Ilustración 7.11. Fachada oeste CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.4. Fachada sur

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☒ Muro ☐ En contacto con el terreno  
☐ Suelo ☒ De fachada  
☐ Partición interior ☐ Medianería  
☐ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Muro de fachada

Nombre	Muro de fachada sur	Zona	Edificio Objeto
<b>Dimensiones</b> Superficie: 46.09 m <sup>2</sup> Longitud: m Altura: m		<b>Características</b> Orientación: Sur Patrón de sombras: Sin patrón	
<b>Parámetros característicos del cerramiento</b> Propiedades térmicas: Conocidas Transmisión térmica: 0.25 W/m <sup>2</sup> K Masa/m <sup>2</sup> : kg/m <sup>2</sup> Librería cerramientos: Fachada			

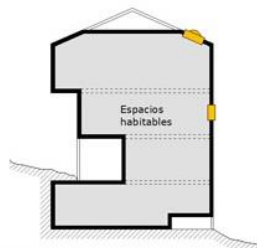
Ilustración 7.12. Fachada sur CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.4.1. Ventanas dormitorios 2 y 3

Al igual que lo ocurrido en los baños, en estas ventanas, al ser de características similares, basta con especificar el número de ellas mediante la opción “multiplicador”:

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

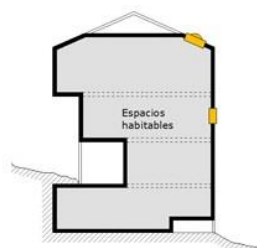
Nombre	ventana cuartos		
Cerramiento asociado	Muro de fachada sur	Orientación	Sur
<b>Dimensiones</b>			
Longitud	1.60	m	
Altura	1.4	m	
Multiplicador	2		
Superficie	4.48	m <sup>2</sup>	
Porcentaje de marco	31.4	%	
<b>Características</b>			
Permeabilidad del hueco	Estanco	50	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Absortividad del marco	$\alpha$	0.75	
<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar			
Patrón de sombras	Sin patrón		
<input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana			
<b>Parámetros característicos del hueco</b>			
<b>Propiedades térmicas</b> Conocidas			
U vidrio	1.5	W/m <sup>2</sup> K	
g vidrio	0.4		
U marco	0.9	W/m <sup>2</sup> K	

Ilustración 7.13. Ventanas dormitorios 2 y 3 CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.4.2. Ventana distribuidor fachada sur

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta  
☐ Muro  
☐ Suelo  
☐ Partición interior  
☒ Hueco/Lucernario  
☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

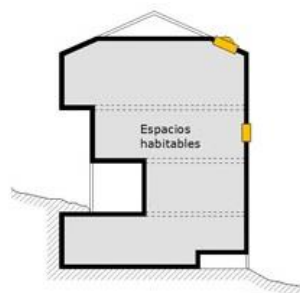
Nombre	ventana pasillo		
Cerramiento asociado	Muro de fachada sur	Orientación	Sur
<b>Dimensiones</b>			
Longitud	1	m	
Altura	2.3	m	
Multiplicador	1		
Superficie	2.3	m <sup>2</sup>	
Porcentaje de marco	27	%	
<b>Características</b>			
Permeabilidad del hueco	Estanco	50	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Absortividad del marco	$\alpha$	0.75	
<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar			
Patrón de sombras	Sin patrón		
<input checked="" type="checkbox"/> Doble ventana			
<b>Parámetros característicos del hueco</b>			
<b>Propiedades térmicas</b> Conocidas			
U vidrio	1.5	W/m <sup>2</sup> K	
g vidrio	0.4		
U marco	0.9	W/m <sup>2</sup> K	

Ilustración 7.14. Ventanas distribuidor sur CE3X. Fuente: Propia

### 7.3.4.3. Ventanal fachada sur

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta
- ☐ Muro
- ☐ Suelo
- ☐ Partición interior
- ☒ Hueco/Lucernario
- ☐ Puente térmico



#### Hueco/Lucernario

Nombre:

Cerramiento asociado:

Orientación:

**Dimensiones**

Longitud:  m

Altura:  m

Multiplicador:

Superficie:  m<sup>2</sup>

Porcentaje de marco:  %

**Características**

Permeabilidad del hueco:  50 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

Absortividad del marco:  0.75

☐ Dispositivo de protección solar

Patrón de sombras:

☒ Doble ventana

#### Parámetros característicos del hueco

**Propiedades térmicas**

U vidrio:  W/m<sup>2</sup>K

g vidrio:

U marco:  W/m<sup>2</sup>K

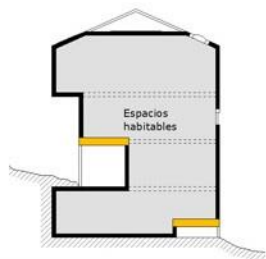
Ilustración 7.15. Ventanal sur CE3X. Fuente: Propia

## 7.4. FORJADO

Como en la vivienda propuesta el suelo de la envolvente térmica no está en contacto directo con el exterior, se define como una partición interior y se introducen los valores de su superficie y transmitancia térmica:

#### Envolvente térmica del edificio

- ☐ Cubierta
- ☐ Muro
- ☐ Suelo
- ☒ Partición interior
- ☐ Hueco/Lucernario
- ☐ Puente térmico
- ☐ Vertical
- ☐ Horizontal en contacto con espacio NH superior
- ☒ Horizontal en contacto con espacio NH inferior



#### Partición interior horizontal en contacto con espacio NH inferior

Nombre:

Zona:

**Parámetros generales**

Superficie de la partición:  m<sup>2</sup>

Tipo de espacio no habitable:

**Parámetros característicos para el cálculo de la U global**

**Propiedades térmicas: Uglobal**

Transmitancia térmica:  W/m<sup>2</sup>K

Ilustración 7.16. Forjado CE3X. Fuente: Propia

## 7.5. INSTALACIONES

En este apartado se introducen las instalaciones del edificio, siendo en este caso una bomba aerotérmica, que realiza la función de caldera para calefacción y producción de ACS. Se indica la existencia del acumulador del agua, así como de su volumen y del salto térmico de trabajo. Además, se especifica el COP de ACS en la opción de “rendimiento nominal”:

### Instalaciones del edificio

- ☐ Equipo de ACS  
☐ Contribuciones energéticas  
☐ Equipo de sólo calefacción  
☐ Equipo de sólo refrigeración  
☐ Equipo de calefacción y refrigeración  
☒ Equipo mixto de calefacción y ACS  
☐ Equipo mixto de calefacción, refrigeración y ACS

### Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Calefacción y ACS	Zona	Edificio Objeto									
<b>Características</b> Tipo de generador: Bomba de Calor Tipo de combustible: Electricidad		<b>Demanda cubierta</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ACS</th> <th>Calefacción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Superficie (m2)</td> <td>118.8</td> <td>118.8</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje (%)</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>			ACS	Calefacción	Superficie (m2)	118.8	118.8	Porcentaje (%)	100	100
	ACS	Calefacción										
Superficie (m2)	118.8	118.8										
Porcentaje (%)	100	100										
<b>Rendimiento medio estacional</b> Rendimiento estacional: Estimado según Instalación Antigüedad del equipo: Posterior a 2013 Rendimiento nominal: 377.0 %		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A.C.S</th> <th>Calefacción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rendimiento medio estacional</td> <td>382.9 %</td> <td>239.4 %</td> </tr> </tbody> </table>			A.C.S	Calefacción	Rendimiento medio estacional	382.9 %	239.4 %			
	A.C.S	Calefacción										
Rendimiento medio estacional	382.9 %	239.4 %										
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación Valor UA: Por defecto Volumen de un depósito: 185 l		Multiplicador: 1 UA: 5.1 W/K Tª alta: 50 °C Tª baja: 10 °C										

Ilustración 7.17. Instalaciones CE3X. Fuente: Propia

## 7.6. CERTIFICACIÓN

Finalmente, tras introducir todas las variables anteriores, se obtiene el certificado energético:



Ilustración 7.18. Certificación CE3X. Fuente: Propia

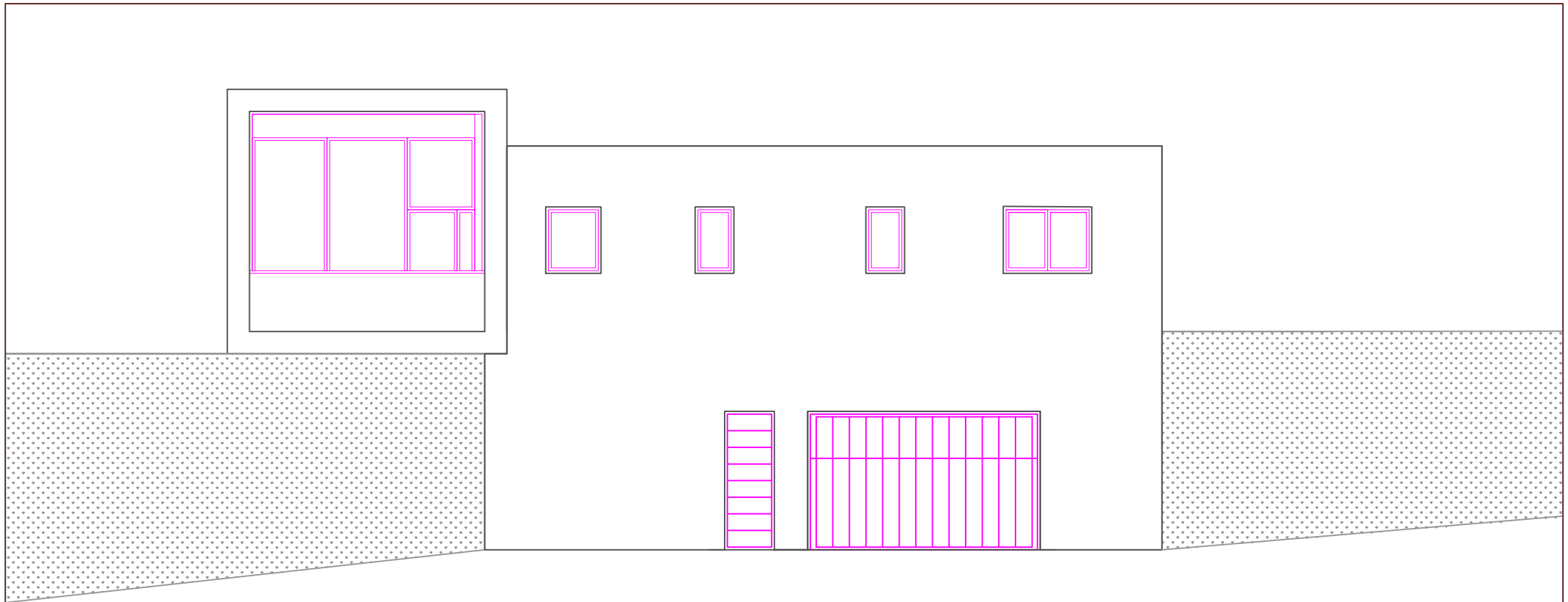


## **8. ANEXOS**

### **8.1. ANEXO I**

En el presente anexo se encuentran los planos de la vivienda, con la acotación necesaria para justificar los cálculos realizados a lo largo del proyecto.





Número de plano:

1

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

Título: Alzado norte

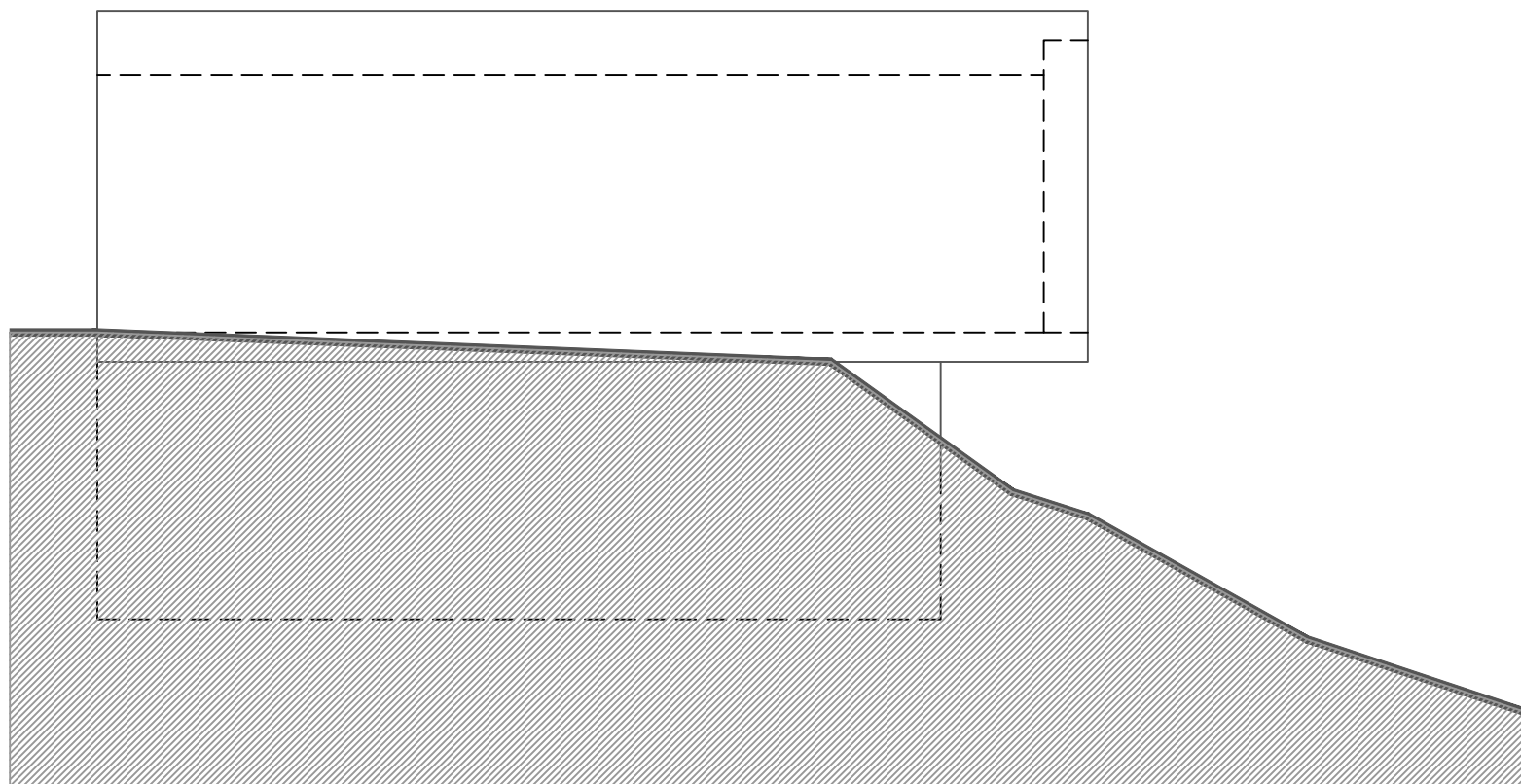
Escala:  
1/100



Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos

0m 1m 2m 3m 4m 5m 10m



Número de plano: 2

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

Título: Alzado este

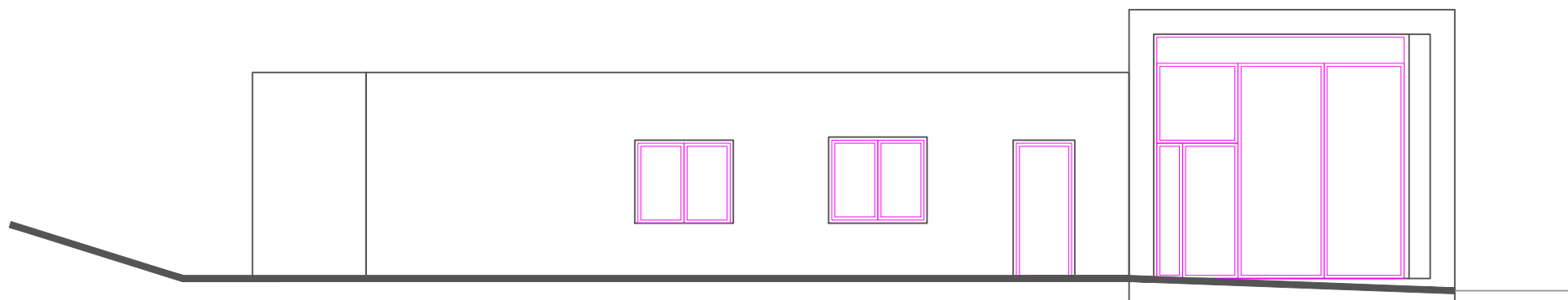
Escala:  
1/100

Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos

0m 1m 2m 3m 4m 5m 10m





Número de plano: Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

3

Título: Alzado sur

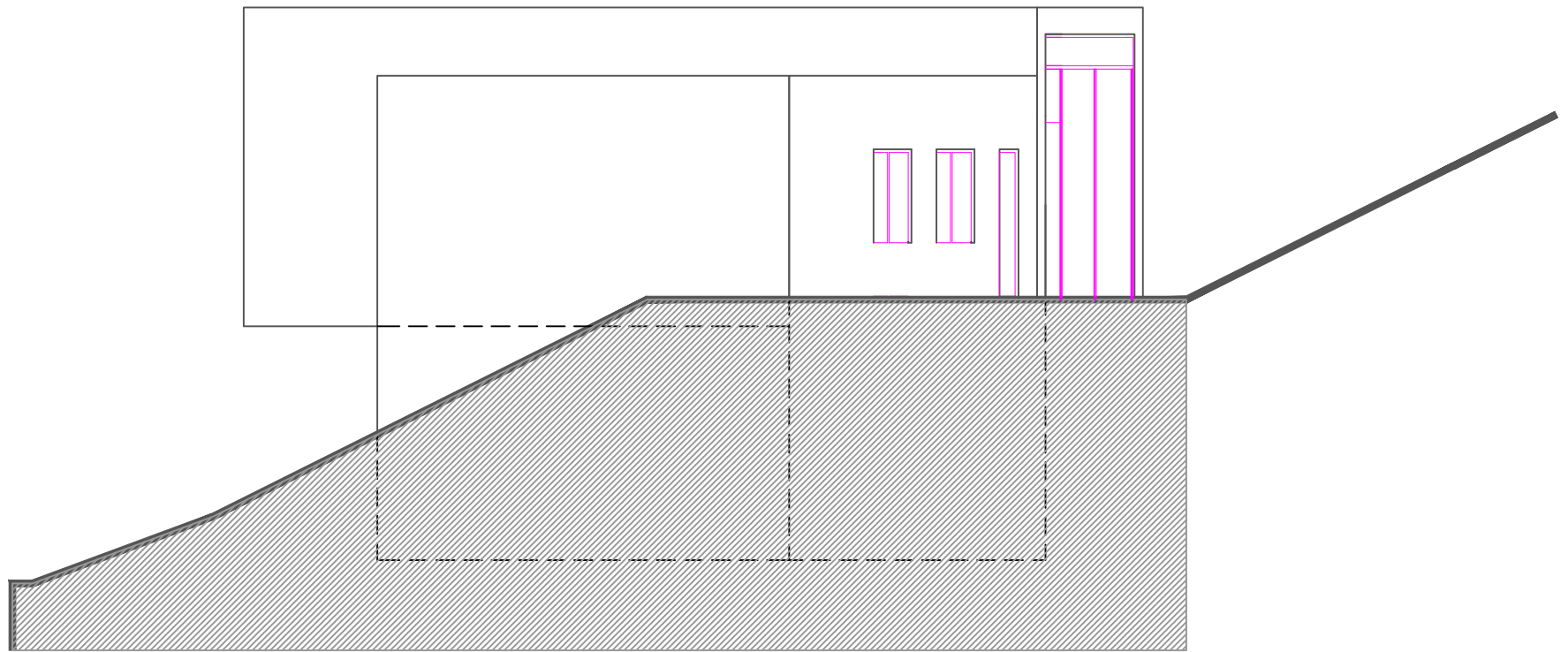
Escala:  
1/100



Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos

0m 1m 2m 3m 4m 5m 10m



Número de plano:

4

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

Título: Alzado oeste

Escala:  
1/100

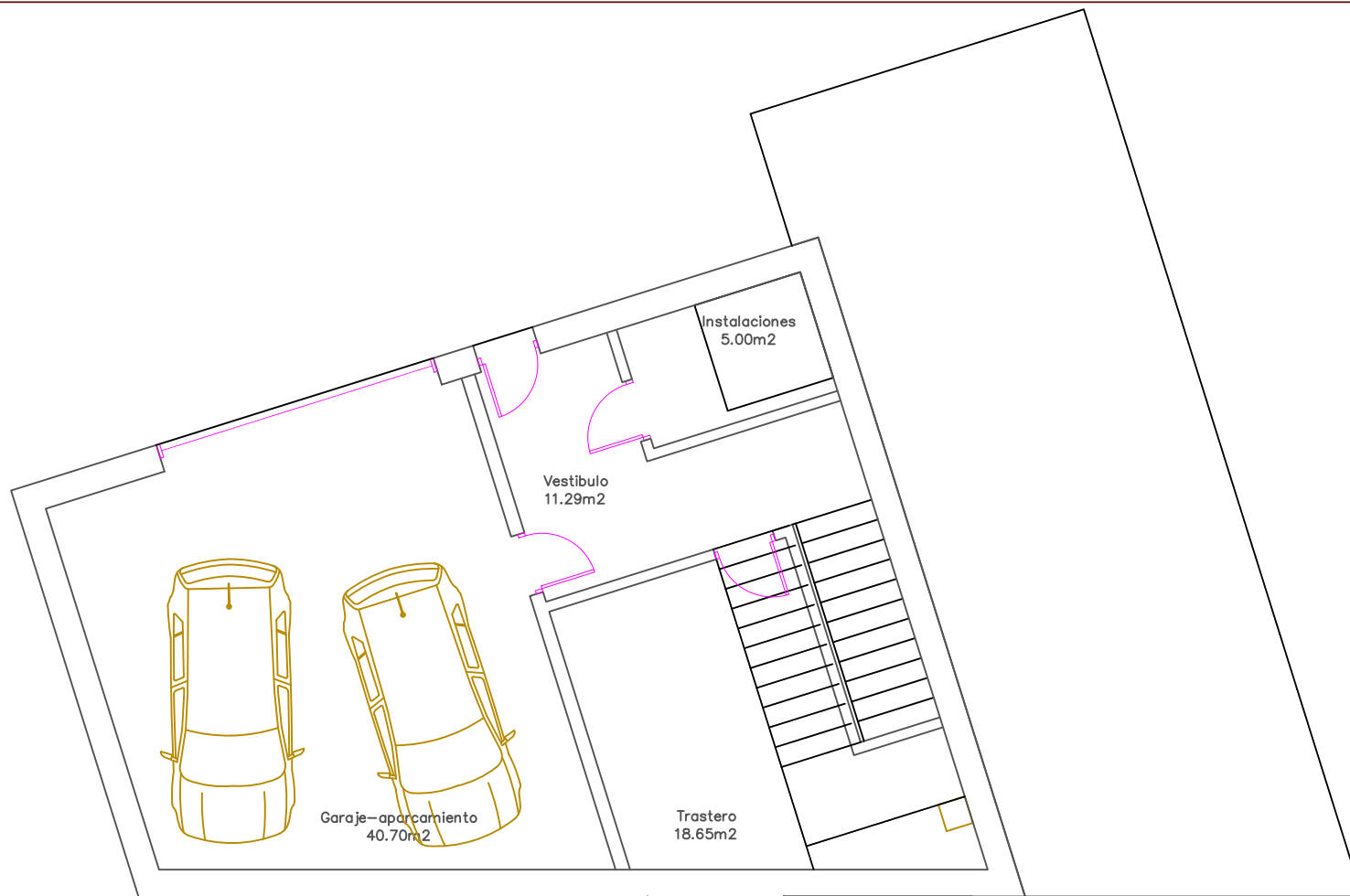


Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos

0m 1m 2m 3m 4m 5m 10m





Número de plano:

6

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

Título: Planta baja

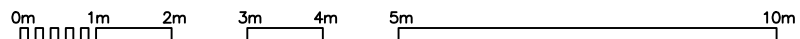
Escala:  
1/100

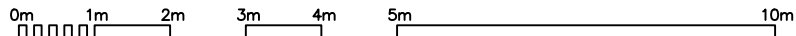
Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo

Tutor: Juan Carcedo Haya

Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos

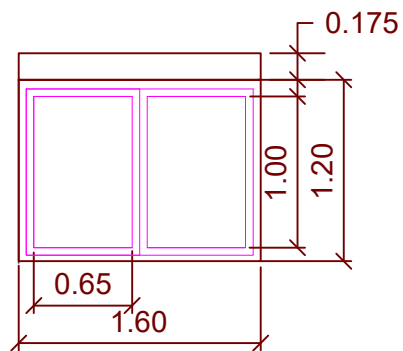




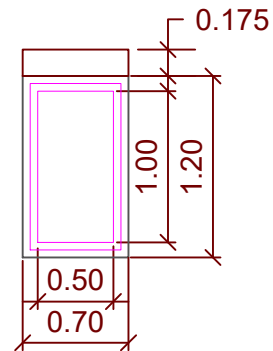
7

Escala:
1/100

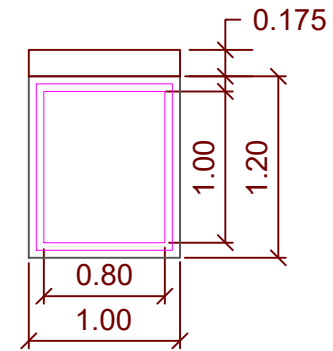
Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos



Ventana dormitorio 1



Ventana baños



Ventana distribuidor



Número de plano:

8

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

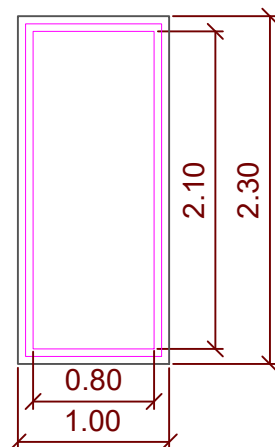
Título: Ventanas alzado norte

Escala:  
1/50

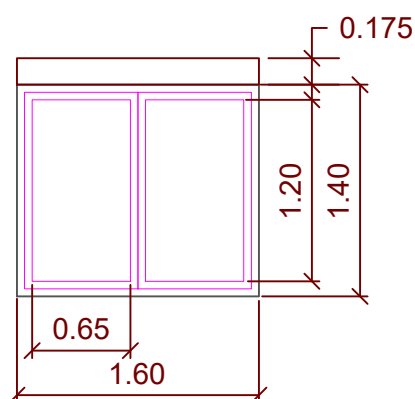


Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos



Ventana distribuidor



Ventana dormitorios 2 y 3



Número de  
plano:  
9

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a  
criterios de consumo energético casi nulo

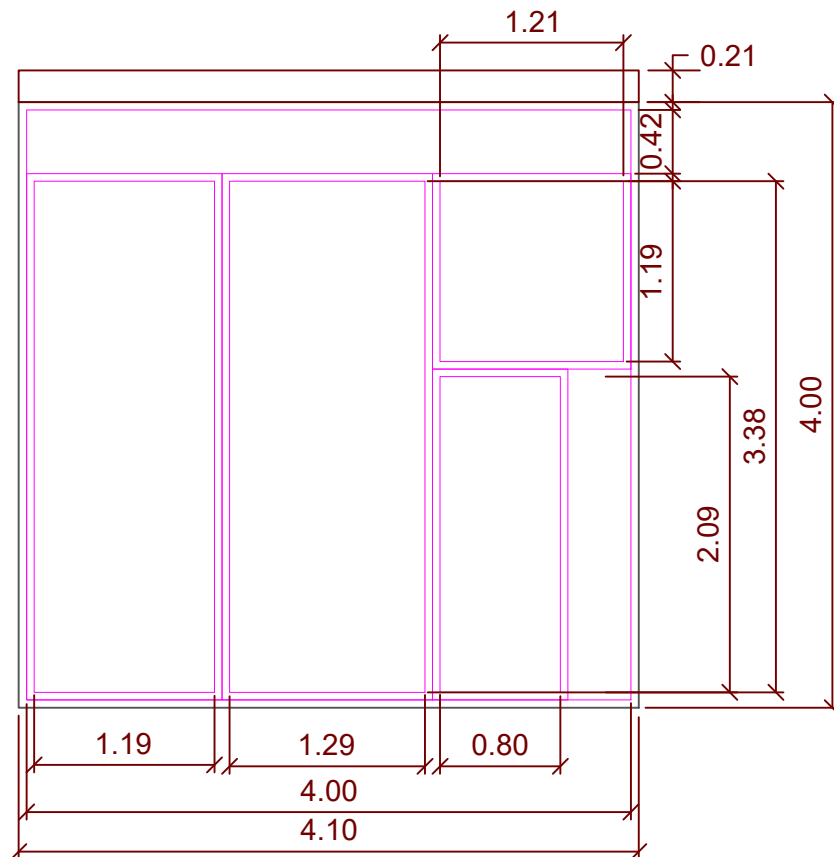
Título: Ventanas alzado sur

Escala:  
1/50



Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de  
los recursos energéticos



Número de plano:  
10

Instalaciones térmicas de una vivienda unifamiliar conforme a criterios de consumo energético casi nulo

Título: Ventanal

Escala:  
1/50



Autor: Manuel A. Ceballos Montalvo  
Tutor: Juan Carcedo Haya  
Convocatoria: septiembre 2021

Grado en ingeniería de los recursos energéticos





## 8.2.ANEXO II

En el presente anexo se encuentran los cálculos referentes a la transmitancia térmica y el factor solar de las ventanas de la vivienda.

Las ventanas usadas son de marco de PVC 70 con 5 cámaras  $U=0,90$  y vidrios 4/16/4 bajo emisivos  $U=1,5$ .

Las dimensiones de los huecos utilizadas en los cálculos pueden ser extraídas del plano nº8, nº9 y nº10 del Anexo I.

Como se definió en la memoria, las expresiones a utilizar son:

Transmitancia térmica:

$$U_H = \frac{A_{H,v} U_{H,v} + A_{H,m} U_{H,m} + A_{H,p} U_{H,p} + [V \Psi_v + l_p \Psi_p]}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

La transmitancia térmica lineal “ $\Psi_v$ ” se obtiene de la siguiente tabla:

Material del marco	Acristalamiento o empanelado simple	Acristalamiento o empanelado doble o triple	Acristalamiento doble con baja emisividad o triple con dos capas de baja emisividad
Madera y plástico	0,00	0,06 / 0,05	0,08 / 0,06
Metálico con rotura de puente térmico	0,00	0,08 / 0,06	0,11 / 0,08
Metálico sin rotura de puente térmico	0,00	0,02 / 0,01	0,05 / 0,04

En este caso son ventanas con doble acristalamiento y vidrios de baja emisividad, por lo que:  $\Psi_v = 0,08$

Las ventanas cuentan con una persiana de color blanco “VEKAVARIANT 2.0”, la cual cuenta con aislamiento térmico en el interior del cajón de la persiana, proporcionando una transmitancia térmica de  $U_{H,p} = 0,72 \frac{W}{m^2 K}$ .

Además, el CTE nos proporciona valores de transmitancia térmica lineal para cajones de persiana con aislamiento:

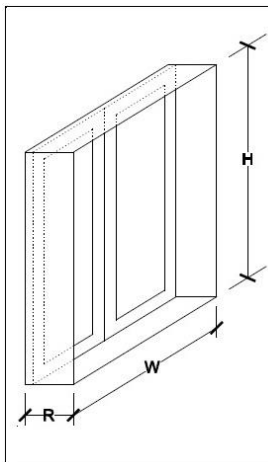
		$\Psi_e, \Psi_i [W/mK]$				
		$U_{marco} [W/m^2 K]$				
		5,7	4,0	3,2	2,2	1,8
$U_{muro} [W/m^2 K]$	0,73	0,08	0,05	0,03	0,00	-0,01
	0,44	0,11	0,08	0,06	0,03	0,02
	0,31	0,13	0,10	0,08	0,05	0,04
	0,27	0,13	0,10	0,08	0,06	0,04
	0,24	0,13	0,09	0,08	0,05	0,03

En el caso propuesto, las persianas cuentan con una transmitancia lineal de:  $\Psi_p = 0,03 \frac{W}{mK}$

Factor solar:

$$Q_{\text{sol,jul}} = (F_{\text{sh;obs}} * g_{\text{gl;sh,wi}} * A_{\text{H,v}} * H_{\text{sol,jul}}) / A_{\text{util}}$$

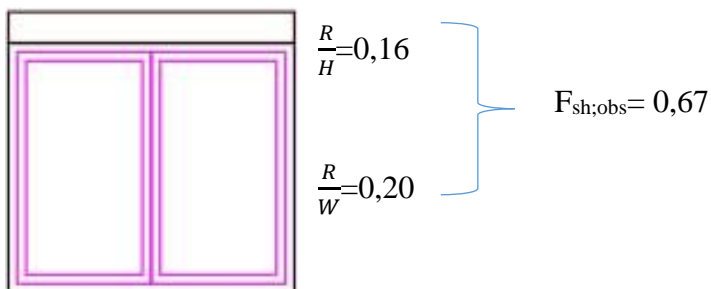
$F_{\text{sh;obs}}$  es el factor sombra por obstáculos. En la vivienda propuesta no existen voladizos para aportar sombra, por lo que el factor se obtiene de la tabla de retranqueo:

			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
			$0,05 < R/H \leq 0,1$	$0,1 < R/H \leq 0,2$	$0,2 < R/H \leq 0,5$	$R/H > 0,5$
	S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27
		$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17
	SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36
		$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23
	E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51
		$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39

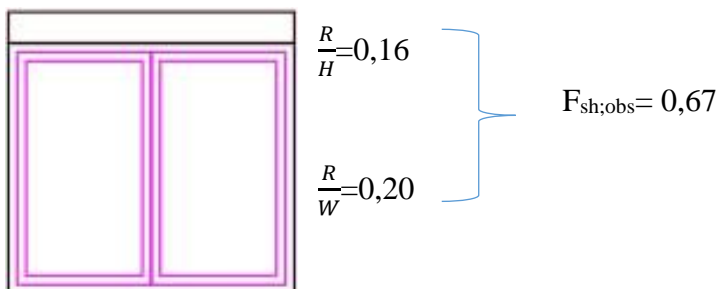
En el caso de que la ventana tenga dirección Norte  $F_{\text{sh;obs}} = 1$

En cuanto a las ventanas de la fachada sur:

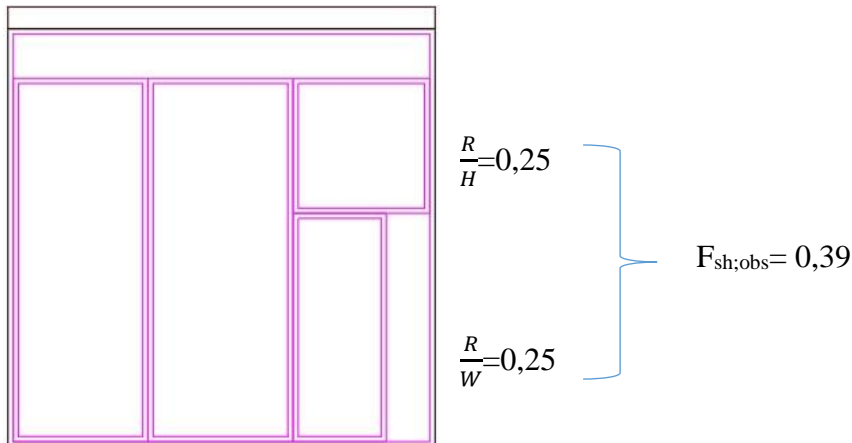
Ventana dormitorio 2



Ventana dormitorio 3



### Ventanal salón



$g_{gl;sh,wi}$  transmitancia total de energía solar de huecos con el dispositivo de sombra móvil activo:

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior				Protección interior			
		Factor de reflexión ( $\rho_{e,B}$ )				Factor de reflexión ( $\rho_{e,B}$ )			
$T_{e,B}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19	0,34	0,43	0,54	0,66
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14	0,34	0,43	0,53	0,63
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10	0,34	0,42	0,51	0,59
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08	0,30	0,34	0,38	0,41
0,2 (p.ej: toldos)	Vidrio sencillo	0,22	0,27	0,31	0,33	0,39	0,51	0,62	0,68
	Vidrio doble	0,20	0,23	0,26	0,28	0,39	0,50	0,60	0,65
	Vidrio doble bajo emisivo	0,17	0,20	0,22	0,23	0,39	0,48	0,56	0,61
	Vidrio triple bajo emisivo	0,13	0,15	0,16	0,17	0,32	0,36	0,40	0,42
0,4 (p.ej: cortinas)	Vidrio sencillo	0,41	0,43	0,45	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71
	Vidrio doble	0,36	0,38	0,39	0,41	0,51	0,56	0,61	0,66
	Vidrio doble bajo emisivo	0,33	0,34	0,35	0,36	0,49	0,53	0,58	0,62
	Vidrio triple bajo emisivo	0,24	0,25	0,26	0,27	0,37	0,38	0,40	0,42

$A_{H,v}$  es el área del vidrio de la ventana ( $m^2$ )

$H_{sol,jul}$  es la irradiación solar media acumulada en el mes de julio ( $kWh/m^2$ )

Z.C.	Horiz.	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N
C1	195.77	88.49	114.47	106.12	81.72	101.55	108.06	84	56.85

Por lo que tenemos:

- Fachada norte:  $H_{sol,jul} = 56,85 \frac{kWh}{m^2}$
- Fachada sur:  $H_{sol,jul} = 81,72 \frac{kWh}{m^2}$



Aplicando ambas fórmulas anteriores:

Ventanas fachada norte:

Ventana dormitorio 1					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =6,60	l <sub>p</sub> = 1,60	U <sub>H</sub> = 1,49
A <sub>H,v</sub> = 1,30	A <sub>H,m</sub> = 0,62	A <sub>H,p</sub> = 0,28	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 1	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 1,30	H <sub>sol,jul</sub> = 56,85	A <sub>util</sub> = 19,00	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,12

Ventana baño 1					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =3	l <sub>p</sub> = 0,70	U <sub>H</sub> = 1,46
A <sub>H,v</sub> = 0,50	A <sub>H,m</sub> = 0,34	A <sub>H,p</sub> = 0,122	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 1	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 0,50	H <sub>sol,jul</sub> = 56,85	A <sub>util</sub> = 5,03	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,17

Ventana baño 2					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =3	l <sub>p</sub> = 0,70	U <sub>H</sub> = 1,46
A <sub>H,v</sub> = 0,50	A <sub>H,m</sub> = 0,34	A <sub>H,p</sub> = 0,122	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 1	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 0,50	H <sub>sol,jul</sub> = 56,85	A <sub>util</sub> = 4,50	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,19

Ventana distribuidor					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =2,6	l <sub>p</sub> = 1,00	U <sub>H</sub> = 1,40
A <sub>H,v</sub> = 0,80	A <sub>H,m</sub> = 0,80	A <sub>H,p</sub> = 0,175	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 1	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 0,80	H <sub>sol,jul</sub> = 56,85	A <sub>util</sub> = 7,56	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,18

Ventanal cocina					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =37,90	l <sub>p</sub> = 4,10	U <sub>H</sub> = 1,49
A <sub>H,v</sub> = 13,17	A <sub>H,m</sub> = 3,23	A <sub>H,p</sub> = 0,861	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 1	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 13,17	H <sub>sol,jul</sub> = 56,85	A <sub>util</sub> = 12,75	Q <sub>sol,jul</sub> = 1,76



Ventanas fachada sur:

Ventana dormitorio 2					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =7,40	l <sub>p</sub> = 1,60	U <sub>H</sub> = 1,42
A <sub>H,v</sub> = 1,36	A <sub>H,m</sub> = 0,68	A <sub>H,p</sub> = 0,28	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> =0,67	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 1,56	H <sub>sol,jul</sub> = 81,72	A <sub>util</sub> = 10,49	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,24

Ventana dormitorio 3					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =7,40	l <sub>p</sub> = 1,60	U <sub>H</sub> = 1,42
A <sub>H,v</sub> = 1,56	A <sub>H,m</sub> = 0,68	A <sub>H,p</sub> = 0,28	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> =0,67	g <sub>gl;sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 1,56	H <sub>sol,jul</sub> = 81,72	A <sub>util</sub> = 11,41	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,22

Ventana distribuidor					
Transmitancia térmica					
$U_{H,v}=1,50$	$U_{H,m}=0,90$	$U_{H,p}=0$	$l_v=5,8$	$l_p=0$	$U_H=1,54$
$A_{H,v}=1,68$	$A_{H,m}=0,62$	$A_{H,p}=0,28$	$\Psi_v=0,08$	$\Psi_p=0$	

Ventanal cocina					
Transmitancia térmica					
U <sub>H,v</sub> = 1,50	U <sub>H,m</sub> = 0,90	U <sub>H,p</sub> = 0,72	l <sub>v</sub> =37,90	l <sub>p</sub> = 4,10	U <sub>H</sub> = 1,49
A <sub>H,v</sub> = 13,17	A <sub>H,m</sub> = 3,23	A <sub>H,p</sub> = 0,861	Ψ <sub>v</sub> =0,08	Ψ <sub>p</sub> = 0,03	
Factor solar					
F <sub>sh;obs</sub> = 0,39	g <sub>gl:sh,wi</sub> = 0,03	A <sub>H,v</sub> = 13,17	H <sub>sol,jul</sub> = 81,72	A <sub>util</sub> = 35,60	Q <sub>sol,jul</sub> = 0,35



### 8.3. ANEXO III

En el presente anexo se realizan los cálculos referentes a las cargas térmicas tanto de calefacción como de refrigeración.

#### 8.3.1. Cargas térmicas de calefacción:

Como se explicó en la memoria, estas cargas se calculan teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables, obviando las cargas que suponen aportación de calor. Son, por tanto, la suma de las cargas térmicas por transmisión y las de renovación.

Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos:

$$Q_{\text{str}} = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Las condiciones de diseño son:

$$T_{\text{ext}} = 4,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{int}} = 21^{\circ}\text{C}$$

Debido a la diferencia en la orientación del cerramiento de la vivienda, las pérdidas no son iguales, por lo que se aplica un “coeficiente de orientación” al salto térmico en función de la orientación de la fachada:

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	18,75
Este	1,10	17,93
Sur	1,00	16,30
Oeste	1,05	17,12

En cuanto a las zonas limítrofes con otras no climatizadas (el forjado entre el garaje y la vivienda), se tendrá en cuenta la mitad del salto térmico ( $\Delta T/2$ ).

A continuación, se muestran las tablas de cálculo usadas para el cálculo de las cargas en función de la estancia:

Dormitorio 1						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	$Q_{\text{transmisión}} \text{ (W)}$
18,74	Norte	6,36	2,20	-	-	91,23
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,3	Sur	8,98	-	19,00	19,00	168,21
17,11	Oeste	14,49	-	-	-	61,98
	U	0,25	1,49	0,21	0,43	321,42



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Baño 1						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	Q <sub>transmisión</sub> (W)
18,74	Norte	6,59	0,96	-	-	57,21
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,3	Sur	-	-	5,03	5,03	34,84
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,46	0,21	0,43	92,05

Baño 2						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	Q <sub>transmisión</sub> (W)
18,74	Norte	5,398	0,963	-	-	51,637
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,3	Sur	-	-	4,5	4,5	31,17
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,46	0,21	0,43	82,807

Distribuidor						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	Q <sub>transmisión</sub> (W)
18,74	Norte	4,985	1,375	-	-	59,429
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,3	Sur	4,38	2,3	13,02	13,02	163,15
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,40/1,54	0,21	0,43	222,58

Dormitorio 2						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	Q <sub>transmisión</sub> (W)
18,74	Norte	-	-	-	-	-
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,30	Sur	5,4	2,52	10,49	10,49	153,002
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,42	0,21	0,43	153,002

Dormitorio 3						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	Q <sub>transmisión</sub> (W)
18,74	Norte	-	-	-	-	-
17,93	Este	-	-	-	-	-
16,30	Sur	4,42	2,52	11,41	11,41	155,382
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,42	0,21	0,43	155,382



Cocina						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	$Q_{\text{transmisión}} \text{ (W)}$
18,74	Norte	-	17,261	-	-	481,972
17,93	Este	10,5	-	-	-	47,06
16,30	Sur	-	-	12,75	12,75	88,32
17,11	Oeste	4,55	-	-	-	19,46
	U	0,25	1,49	0,21	0,43	636,812

Salón						
$\Delta T$	Orientación	Fachada (m <sup>2</sup> )	Ventana (m <sup>2</sup> )	Cubierta	Suelo	$Q_{\text{transmisión}} \text{ (W)}$
18,74	Norte	-	-	-	-	-
17,93	Este	29,57	-	-	-	132,55
16,30	Sur	-	17,261	35,6	35,6	665,837
17,11	Oeste	-	-	-	-	-
	U	0,25	1,49	0,21	0,43	798,39

Las cargas por transmisión son:

Cargas térmicas por transmisión	
Estancia	Q (W)
Dormitorio 1	321,41
Dormitorio 2	153,00
Dormitorio 3	155,38
Baño 1	92,05
Baño 2	82,80
Distribuidor	222,58
Cocina	636,81
Salón	798,39
Total	2.462,44

Carga transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior:

$$Q_{\text{si}} = V \cdot 0,34 \cdot \Delta T$$

Previamente al cálculo de las cargas térmicas se debe calcular el caudal de aire para lo cual se utilizará la tabla extraída del DB-HS3:

Tipo de vivienda	Caudal mínimo $q_v$ en l/s				
	Locales secos <sup>(1) (2)</sup>			Locales húmedos <sup>(2)</sup>	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores <sup>(3)</sup>	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8





Caudal de admisión de aire:

Caudal del salón: 10 l/s

Dormitorio principal: 8 l/s

Resto de dormitorios:  $4 \times 2 = 8$  l/s

} Caudal total:  $10 + 8 + 8 = 26$  l/s

Caudal de extracción de aire:  $3 \times 8 = 24$  l/s

Debemos escoger el valor más desfavorable, siendo en este caso el mínimo total establecido por el CTE:  $33 \text{ l/s} = 118,8 \text{ m}^3/\text{h} = 0,033 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para satisfacer la demanda de ventilación se ha elegido la ventilación mecánica con recuperación de calor modelo “DEE-FLY 90”.

Como el volumen del edificio es de  $337,36 \text{ m}^3$  correspondería con 0,35 renovaciones por hora.

Teniendo en cuenta las mismas condiciones exteriores e interiores que en las cargas anteriores, con un salto térmico de  $\Delta T = 16,30$  y el caudal, que corresponde con el número de renovaciones (0,35) por el volumen de la estancia, se puede realizar el cálculo de estas cargas.

Se ha utilizado la siguiente tabla para su cálculo:

Cargas térmicas por ventilación			
Estancia	Volumen ( $\text{m}^3$ )	Caudal ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	$Q_{\text{renovación}}$ (W)
Dormitorio 1	50,35	17,62	97,66
Dormitorio 2	27,8	9,73	53,92
Dormitorio 3	30,23	10,58	58,64
Baño 1	13,33	4,67	25,86
Baño 2	11,93	4,18	23,14
Distribuidor	34,5	12,08	66,92
Cocina	33,79	11,83	65,54
Salón	124,6	43,61	241,69
			633,37

### 8.3.2. Cargas térmicas de refrigeración:

Estas cargas suponen una ganancia de calor ya que, se supone, que el aire interior del edificio está a menor temperatura que el aire exterior. Son la suma de las cargas sensibles y las cargas latentes. Los cálculos se realizarán para el mes de Julio por ser el más restrictivo:

Condiciones de diseño interiores:  $25^\circ\text{C}$  y Hr 50%

Condiciones de diseño exteriores: Tseca:  $24,2^\circ\text{C}$  y Thúmeda:  $21,4^\circ\text{C}$

Primero se realizará el cálculo de las cargas sensibles:



Carga sensible debida a la radiación solar a través de cristales:

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F$$

La radiación solar se requiere en  $W/m^2$ . Se obtiene a través de la siguiente tabla:

Orientación	Radiación solar $W/m^2$ (kcal/h.m <sup>2</sup> )
N	44 (38)
NE	321 (276)
E	510 (439)
SE	459 (395)
S	321 (276)
SO	460 (396)
O	510 (439)
NO	321 (276)
horizontal	675 (580)

Según la orientación de la ventana se tiene un valor diferente:

- Fachada norte:  $R = 44 \frac{W}{m^2}$
- Fachada sur:  $R = 321 \frac{W}{m^2}$

El parámetro F se calcula mediante lo establecido en el CTE:

$$F = g_{gl;wi;m} = (1 - f_{sh;with}) \cdot g_{gl;wi} + f_{sh;with} \cdot g_{gl;sh,wi}$$

Donde,

$g_{gl;wi}$  es el total de energía solar en función del tipo de vidrio, obtenido de la siguiente tabla:

Tipo	$g_{gl;n}$	$g_{gl;wi}$
Vidrio sencillo	0,85	0,77
Vidrio doble	0,75	0,68
Vidrio doble bajo emisivo	0,67	0,60
Vidrio triple bajo emisivo	0,50	0,45
Doble ventana	0,75	0,68

En el presente proyecto se disponen en todas las ventanas vidrios dobles bajo emisivo, por tanto:  $g_{gl;wi} = 0,60$



$g_{gl;sh,wi}$  es el total de energía solar en función del dispositivo de sombra móvil obtenido de la siguiente tabla:

Factor de transmitancia solar del dispositivo de protección solar		Protección exterior			
		Factor de reflexión ( $\rho_{e,B}$ )			
$T_{e,B}$	Tipo de vidrio	blanco	pastel	oscuro	negro
0 (p.ej: persianas)	Vidrio sencillo	0,06	0,11	0,15	0,19
	Vidrio doble	0,05	0,08	0,11	0,14
	Vidrio doble bajo emisivo	0,03	0,05	0,08	0,10
	Vidrio triple bajo emisivo	0,03	0,05	0,06	0,08

Similar al cálculo de la limitación de radiación solar máxima, se disponen persianas en todas las ventanas, por tanto:  $g_{gl;sh,wi} = 0,03$

$f_{sh;with}$  es la fracción del tiempo de activación de los dispositivos solares móviles, se obtiene de la siguiente tabla:

ZC	Orientación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
C1	E	0,45	0,47	0,54	0,61	0,63	0,61	0,67	0,67	0,60	0,54	0,47	0,38
	S	0,82	0,80	0,73	0,63	0,50	0,44	0,54	0,67	0,75	0,83	0,84	0,81
	O	0,48	0,50	0,54	0,57	0,53	0,61	0,62	0,64	0,55	0,56	0,51	0,37
	N	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

En la vivienda propuesta, se tienen ventanas tanto en la fachada norte como sur. Para el mes de julio tenemos:

Norte:  $f_{sh;with} = 0,00$

Sur:  $f_{sh;with} = 0,54$

Por lo que, para las ventanas de la fachada norte:

$g_{gl;wi;m} = g_{gl;wi} = 0,60$

Mientras que las ventanas de la fachada sur:

$g_{gl;wi;m} = (1-0,54) \cdot 0,60 + 0,54 \cdot 0,03 = 0,29$

Ahora se puede realizar el cálculo de las cargas, para lo que se ha usado las siguientes tablas:



Ventanas fachada norte:

Ventana dormitorio 1			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
1,3	0,6	44	34,32

Ventana baños			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
0,5	0,6	44	13,20

Ventana distribuidor			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
0,8	0,6	44	21,12

Ventanal cocina			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
13,17	0,6	44	347,69

Ventanas fachada sur

Ventana dormitorios 2 y 3			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
1,36	0,29	321	126,60

Ventanal salón			
$A_{H,v} (m^2)$	$g_{gl;wi;m}$	$R (W/m^2)$	$Q_{sr} (W)$
13,17	0,29	321	1225,99



Huecos		
	Estancia	Q <sub>sr</sub> (W)
Fachada norte	Dormitorio 1	34,32
	Baño 1	13,20
	Baño 2	13,20
	Distribuidor	21,12
	Cocina	347,69
Fachada sur	Salón	1225,99
	Dormitorio 2	126,60
	Dormitorio 3	126,60
		1.908,72

Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos:

$$Q_{\text{str}} = U \cdot S \cdot \Delta T$$

Similar a lo ocurrido en las cargas de calefacción, debido a la diferencia en la orientación del cerramiento de la vivienda existen diferentes saltos térmicos, por lo que se aplica un “coeficiente de orientación”, en este caso el coeficiente es aplicado para modificar la temperatura:

Coeficiente de orientación			
Orientación	Coeficiente	Temperatura (°C)	ΔT
Norte	0,6	14,52	-10,48
Este	0,8	19,36	-5,64
Sur	1	24,20	-0,80
Oeste	0,9	21,78	-3,22
Cubierta	Te+12	36,20	11,20
Forjado	(Te+15)/2	19,50	-5,40

Se han utilizado las siguientes tablas de cálculo:

Dormitorio 1								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	Q <sub>transmisión</sub> (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	6,36	-	8,98	14,49	19	19	-29,55
U=1,49	Ventana (m <sup>2</sup> )	2,2	-	-	-	-	-	-34,35
	ΔT	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,2	-5,4	-63,9
						U=0,21	U=0,43	



Baño 1								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{transmisión}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	6,59	-	-	-	5,03	5,03	-17,11
U=1,49	Ventana (m <sup>2</sup> )	0,96	-	-	-	-	-	-15,04
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,2	-5,4	-32,15
						U=0,21	U=0,43	

Baño 2								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{transmisión}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	5,398	-	-	-	4,50	4,50	-14,01
U=1,49	Ventana (m <sup>2</sup> )	0,963	-	-	-	-	-	-15,04
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-29,04
						U=0,21	U=0,43	

Distribuidor								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{transmisión}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	4,985	-	4,38	-	13,02	13,02	-13,55
U=1,40/1,54	Ventana (m <sup>2</sup> )	1,375	-	2,3	-	-	-	-23,01
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-36,56
						U=0,21	U=0,43	

Dormitorio 2								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{transmisión}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	-	-	5,4	-	10,49	10,49	-0,77
U=1,42	Ventana (m <sup>2</sup> )	-	-	2,52	-	-	-	-2,86
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-3,63
						U=0,21	U=0,43	



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Dormitorio 3								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	-	-	4,42	-	11,41	11,41	-0,54
U=1,42	Ventana (m <sup>2</sup> )	-	-	2,52	-	-	-	-2,86
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-3,40
						U=0,21	U=0,43	

Cocina								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	-	10,50	-	4,55	12,75	12,75	-18,08
U=1,49	Ventana (m <sup>2</sup> )	17,26	-	-	-	-	-	-269,52
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-287,60
						U=0,21	U=0,43	

Salón								
	Orientación	Norte	Este	Sur	Oeste	Cubierta	Forjado	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)
U=0,25	Fachada (m <sup>2</sup> )	-	-	-	29,57	35,6	35,6	-22,74
U=1,49	Ventana (m <sup>2</sup> )	-	-	17,26	-	-	-	-20,57
	$\Delta T$	-10,48	-5,64	-0,80	-3,22	11,20	-5,40	-43,31
						U=0,21	U=0,43	

Los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Cargas térmicas por transmisión	
Estancia	Q (W)
Dormitorio 1	-63,90
Dormitorio 2	-3,63
Dormitorio 3	-3,40
Baño 1	-32,15
Baño 2	-29,04
Distribuidor	-36,56
Cocina	-287,60
Salón	-43,31
Total	-499,19





Las cargas resultan negativas debido a que la temperatura exterior normalmente está a una temperatura inferior a la que se encuentra el interior de la vivienda.

Carga sensible transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior:

$$Q_{si} = V \cdot 0,34 \cdot \Delta T$$

Son calculadas de forma similar a las cargas de calefacción, siendo el número de renovaciones por hora de  $n = 0,35$

Y el salto térmico de:

$$\Delta T = -0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo en la expresión, se obtienen los siguientes valores:

Carga sensible por ventilación			
Estancia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>renovación</sub> (W)
Dormitorio 1	50,35	17,62	-4,79
Dormitorio 2	27,8	9,73	-2,65
Dormitorio 3	30,23	10,58	-2,88
Baño 1	13,33	4,67	-1,27
Baño 2	11,93	4,18	-1,14
Distribuidor	34,5	12,08	-3,28
Cocina	33,79	11,83	-3,22
Salón	124,6	43,61	-11,86
			-31,09

Carga sensible por aportaciones internas:

Carga sensible por ocupantes (Q<sub>sp</sub>):

La vivienda está dimensionada para una ocupación de 4 personas y, en relación con la tabla 6.12. Carga sensible por ocupante se establece una actividad de “sentados, trabajo ligero”, por tanto:

$$Q_{sp} = n \cdot C_{\text{sensible, persona}} = 4 \times 70 = 280 \text{ W}$$

Carga sensible debido a la iluminación (Q<sub>sil</sub>):

Se toma una media de 10W/m<sup>2</sup> en iluminación



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*

Carga sensible por iluminación		
Estancia	Superficie (m <sup>2</sup> )	Q <sub>iluminación</sub> (W)
Dormitorio 1	19,00	190
Dormitorio 2	10,49	104,9
Dormitorio 3	11,41	114,1
Baño 1	5,03	50,3
Baño 2	4,50	45
Distribuidor	13,02	130,2
Cocina	12,75	127,5
Salón	35,60	356
		1.118

Como no se usan todas las luces al mismo tiempo, un factor de simultaneidad típico en las instalaciones de iluminación es de 0,66, por lo que tendremos una carga interna debida a la iluminación de:

$$Q_{sil} = 1.118 \cdot 0,66 = 737,88 \text{ W}$$

Carga sensible por aparatos eléctricos (Q<sub>se</sub>):

Carga por electrodomésticos		
Estancia	Electrodoméstico	Q (W)
Cocina	Frigorífico	350
	Lavadora	250
	Lavavajillas	250
	Horno	1.000
	Vitrocerámica	300
Dormitorio 1	Televisor	150
	Ordenador	250
Dormitorio 2	Televisor	150
	Ordenador	250
Dormitorio 3	Televisor	150
	Ordenador	250
Salón	Televisor	150
		3.500

En cuanto a aparatos eléctricos, no existe ningún factor de simultaneidad de referencia. Se considera un factor de simultaneidad de 0,25:

$$Q_{se} = 0,25 \cdot 3.500 = 875 \text{ W}$$

Las cargas por aportaciones internas son:



Carga sensible por aportaciones internas	
Tipo de carga	Q (W)
Carga por ocupantes	280
Carga por iluminación	737,88
Carga por aparatos	875
	1.892,88

A continuación, se realizará el cálculo de las cargas latentes:

Calor latente por ocupación ( $Q_{lp}$ ):

El cálculo se realiza de forma similar a el calor sensible por ocupación:

$$Q_{lp} = 4 \times 46 = 184 \text{ W}$$

Carga latente transmitida por ventilación o infiltraciones de aire exterior ( $Q_{li}$ ):

$$Q_{li} = V \cdot 0,63 \cdot \Delta w$$

Para calcular la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior ( $\Delta w$ ) se debe recurrir a un diagrama psicrométrico en el que debemos introducir las condiciones interiores y exteriores:

Condiciones interiores {  $T_s = 25^\circ\text{C}$   
 $H_r = 50\%$

Condiciones exteriores {  $T_s = 24,2^\circ\text{C}$   
 $T_H = 21,4^\circ\text{C}$

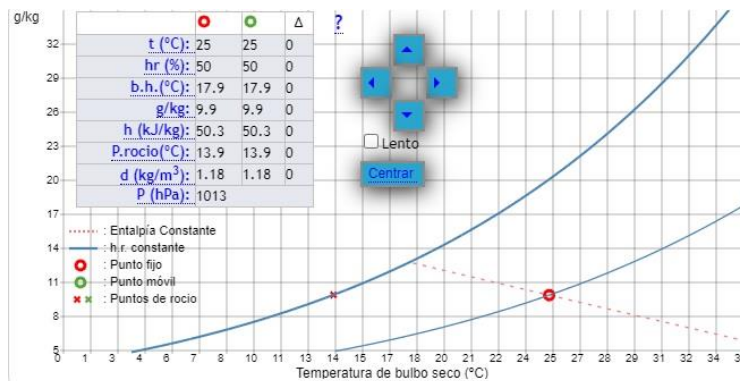
En este caso se ha recurrido a “[www.herramientasingeneria.com](http://www.herramientasingeneria.com)”, que dispone de un diagrama psicrométrico online, resultando los siguientes valores:



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN



Humedad absoluta interior:



RESULTADOS (●) :

**Presiones**

Presión barométrica: 1013.3 hPa  
Presión de vapor: 15.85 hPa  
Presión de vapor saturación: 31.69 hPa

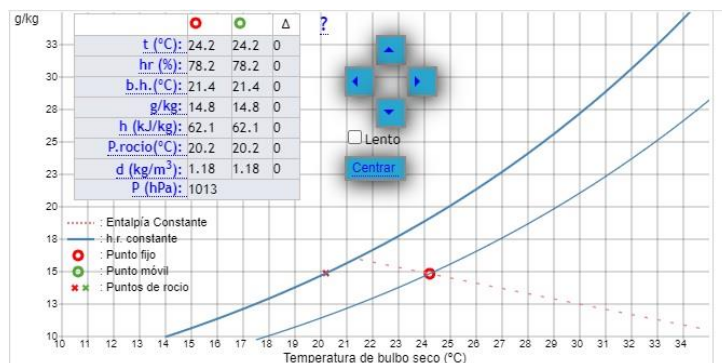
**Temperaturas**

Temperatura de bulbo seco: 25 °C  
Temperatura de bulbo húmedo: 17.88 °C  
Punto de rocío: 13.9 °C

**Humedad**

Humedad relativa: 50 %  
g de agua/kg aire seco: 9.881 g/kg  
Humedad Específica: 0.0098  
Humedad Absoluta: 11.515 g/m<sup>3</sup>

Humedad absoluta exterior:



RESULTADOS (●) :

**Presiones**

Presión barométrica: 1013.3 hPa  
Presión de vapor: 23.61 hPa  
Presión de vapor saturación: 30.21 hPa

**Temperaturas**

Temperatura de bulbo seco: 24.2 °C  
Temperatura de bulbo húmedo: 21.4 °C  
Punto de rocío: 20.2 °C

**Humedad**

Humedad relativa: 78.16 %  
g de agua/kg aire seco: 14.84 g/kg  
Humedad Específica: 0.0146  
Humedad Absoluta: 17.206 g/m<sup>3</sup>



$$\Delta w = 14,84 - 9,881 = 4,959 \text{ gH/kg}_s$$

El número de renovaciones es de:  $n = 0,35$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

Carga latente por ventilación			
Estancia	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>renovación</sub> (W)
Dormitorio 1	50,35	17,62	54,18
Dormitorio 2	27,8	9,73	29,92
Dormitorio 3	30,23	10,58	32,53
Baño 1	13,33	4,67	14,34
Baño 2	11,93	4,18	12,84
Distribuidor	34,5	12,08	37,13
Cocina	33,79	11,83	36,36
Salón	124,6	43,61	134,08
			351,38

Las cargas térmicas de refrigeración son:

Cargas térmicas de refrigeración		
Tipo de carga		Q (W)
Cargas sensibles	Cargas por radiación	1.908,72
	Cargas por transmisión	-499,19
	Cargas por ventilación	-31,09
	Cargas por aport. interna	1.892,88
Cargas latentes	Cargas por ventilación	351,38
	Cargas por ocupación	184
Total		3.806,70



#### 8.4. ANEXO IV

En el presente anexo se desarrollan los diferentes cálculos necesarios para el correcto dimensionamiento del suelo radiante.

Como se especificó en la memoria, se tiene un flujo de calor crítico de:  $q_{crit} = 55,09 \frac{W}{m^2}$

Para realizar el cálculo de las curvas características se recurre a la siguiente expresión:

$$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$$

Donde,

$q$  es el flujo térmico límite de la instalación ( $\frac{W}{m^2}$ )

$\Delta\theta_H$  es la diferencia media logarítmica entre el fluido y la estancia ( $^{\circ}C$ )

$K_H$  es el producto de factores y exponentes que dependen de los parámetros del sistema:

$$K_H = B \cdot a_B \cdot a_T^{mT} \cdot a_U^{mU} \cdot a_D^{mD}$$

Donde,

$B$  es el coeficiente característico del sistema siendo:

$$B = 6,7 \frac{W}{m^2 K} \text{ para } \lambda_R = 0,35 \frac{W}{m^2 K} \text{ y } S_R = 0,002 \text{ m}$$

$a_B$  es el factor de revestimiento del suelo, calculado mediante la siguiente expresión:

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}}$$

Donde los valores  $\alpha$ ,  $S_{u,0}$  y  $\lambda_{u,0}$  vienen predefinidos por norma:

$$\alpha = 10,48 \frac{W}{m^2 K} ; S_{u,0} = 0,045 \text{ m}; \lambda_{u,0} = 1 \frac{W}{m K}$$

Sustituyendo:  $a_B = 0,8239$

$a_T$  es el factor de paso que viene definido por norma, siendo

$$a_T = 1,188 \text{ cuando } R_{\lambda,B} = 0,05 \frac{m^2 K}{W}$$



$a_U$  es el factor de recubrimiento, el cual la norma asigna un valor en función del paso, siendo los valores de la siguiente tabla cuando  $R_{\lambda,B} = 0,05 \frac{m^2 K}{W}$ :

Factor de recubrimiento	
T (m)	$a_U$
0,05	1,013
0,10	1,025
0,15	1,034
0,20	1,04

$a_D$  es el factor del diámetro exterior del tubo, el cual la norma asigna un valor en función del paso, siendo los valores de la siguiente tabla cuando  $R_{\lambda,B} = 0,05 \frac{m^2 K}{W}$ :

Factor del diámetro	
T (m)	$a_D$
0,05	1,056
0,10	1,05
0,15	1,046
0,20	1,041

$m_T$  es el exponente de  $a_T$  calculado cuando sus valores se encuentran  $0,050 \leq T \leq 0,375m$  mediante la siguiente expresión:

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075}$$

Exponente de $a_T$	
T (m)	$m_T$
0,05	0,33333333
0,10	-0,33333333
0,15	-1
0,20	-1,66666667

$m_U$  es el exponente de  $a_U$  calculado cuando  $S_U \geq 0,010m$  mediante la siguiente expresión:  
 $m_U = 100 \cdot (0,045 - S_U) = 100 \cdot (0,045 - 0,020) = 2,50$

$m_D$  es el exponente de  $a_D$  calculado cuando  $0,008m \leq D \leq 0,030m$  mediante la siguiente expresión:

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,020) = 250 \cdot (0,020 - 0,020) = 0$$

Con estos datos, se pueden calcular las curvas características, las cuales eran:





Curvas características	
T (m)	$q = K_H \cdot \Delta\theta_H$
0,05	6,04
0,10	5,54
0,15	5,05
0,20	4,57

Mientras que las curvas límite eran:

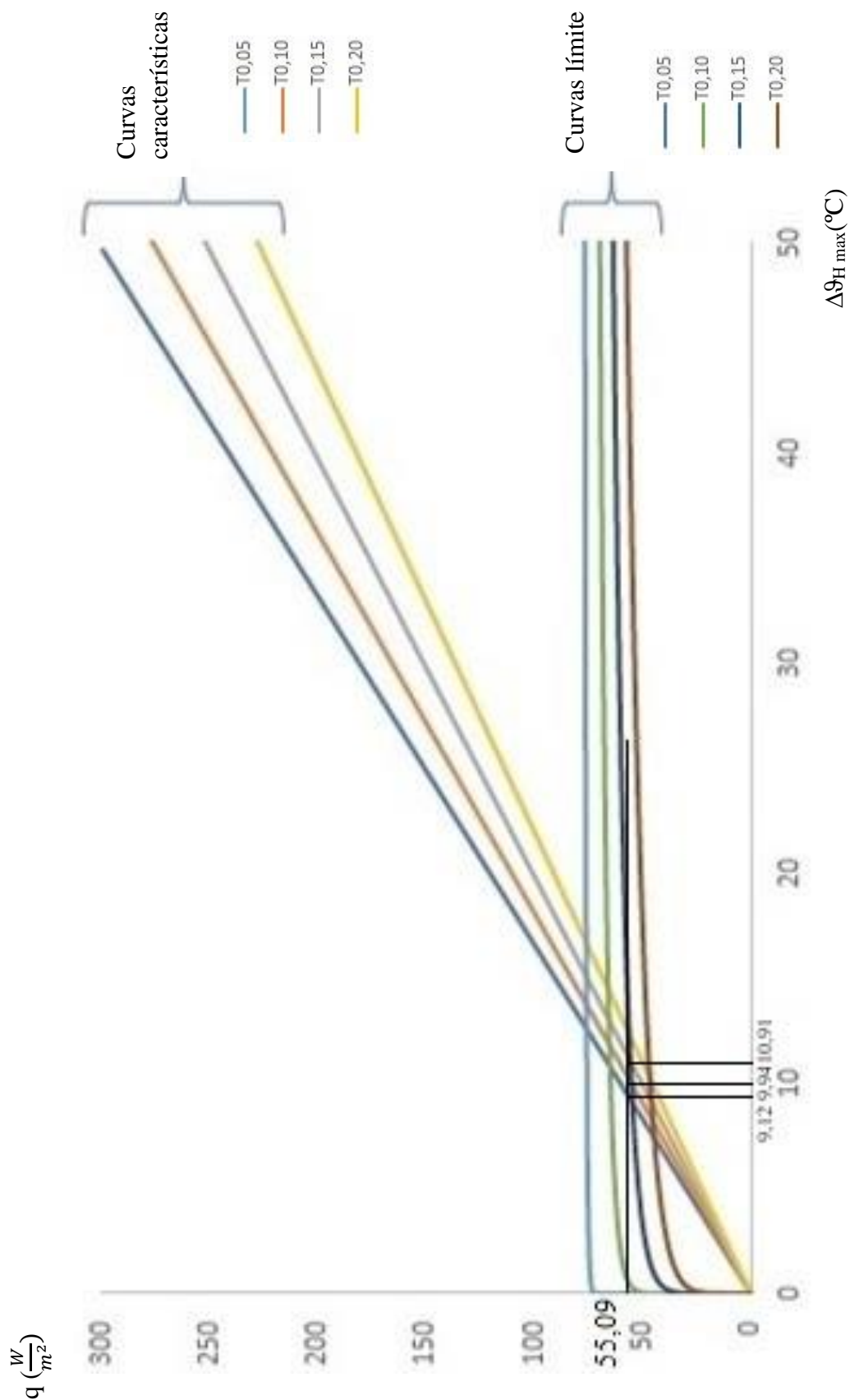
Curvas límite	
T (m)	$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{\varphi}\right)^{n_G}$
0,05	$0,88 \cdot 85 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,008}$
0,10	$0,88 \cdot 66 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,046}$
0,15	$0,88 \cdot 51 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,088}$
0,20	$0,88 \cdot 38,5 \cdot \left(\frac{\Delta\theta_H}{0,88}\right)^{0,131}$

Conocidas ambas ecuaciones de las curvas se calcula para cada paso, con el valor del flujo crítico ( $55,09 \frac{W}{m^2}$ ), las diferentes medias logarítmicas máximas ( $\Delta\theta_{Hmax}$ ) y, a su vez, se sustituía en las curvas límite, obteniéndose para cada paso un flujo térmico ( $q_G$ ) que para que fuese válido tendría que ser superior al flujo crítico e inferior al flujo límite ( $87,85 \frac{W}{m^2}$ ).

Diferencia de temperatura	
T (m)	$\Delta\theta_{Hmax}$
0,05	9,12
0,10	9,94
0,15	10,91
0,20	12,05

Flujo térmico	
T (m)	$q_G$
0,05	76,36
0,1	58,71
0,15	55,13
0,2	46,02

Gráficamente, la solución sería trazar en las gráficas de las curvas una horizontal a la altura del flujo crítico. Los pasos válidos son los que, por debajo de esta horizontal, la curva característica se encuentra por debajo de su correspondiente curva límite:





## 8.5. ANEXO V

En este anexo se encuentran los cálculos realizados para el cálculo anual de calefacción.

Para realizar dichos cálculos se utilizarán los “Grados día”.

Dicho término se refiere al número de horas que existen en un determinado período de tiempo (día, semana, mes, etc...) en el que la temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base establecida en los grados día.

Los grados pueden ser definidos como las necesidades caloríficas (o de refrigeración) necesarias para alcanzar la zona de confort, acumuladas para un determinado período de tiempo. La temperatura de confort corresponde con la temperatura base fijada.

Esta temperatura base varía según el país. En España se suele tomar 15°C.

Para esta sección, recurriremos nuevamente a la en “*Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto*” facilitada por IDAE.

En la siguiente tabla se muestra por meses, la temperatura media y los grados día.

Mes	TA (°C)	GD <sub>15</sub> (°C)
Enero	10,6	141
Febrero	10,3	138
Marzo	11,9	110
Abril	12,4	86
Mayo	14,7	34
Junio	17,6	4
Julio	19,3	1
Agosto	20,3	0
Septiembre	18,8	2
Octubre	16,9	15
Noviembre	12,9	76
Diciembre	11,1	126

Por tanto, para realizar el cálculo de dichas cargas, se realizará de forma análoga a las cargas térmicas de calefacción y se le multiplica por el número de horas del mes correspondiente.

A continuación, se muestran las tablas usadas para el cálculo mes a mes:



Enero	
T.ext (°C)	T.int (°C)
10,60	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	11,96
Este	1,10	11,44
Sur	1,00	10,40
Oeste	1,05	10,92
Forjado	0,50	5,46

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	203,08	62,30	265,38
Dormitorio 2	95,39	34,41	129,79
Dormitorio 3	121,25	37,41	158,66
Baño 1	57,53	16,51	74,04
Baño 2	51,57	14,78	66,35
Distribuidor	142,75	42,71	185,46
Cocina	392,49	41,83	434,32
Salón	500,04	154,20	654,24
			1968,24

Febrero	
T.ext (°C)	T.int (°C)
10,30	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	12,30
Este	1,10	11,77
Sur	1,00	10,70
Oeste	1,05	11,23
Forjado	0,50	5,61

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	208,94	64,10	273,04
Dormitorio 2	98,14	35,40	133,54
Dormitorio 3	124,74	38,49	163,23
Baño 1	59,18	16,99	76,17
Baño 2	53,05	15,21	68,26
Distribuidor	146,87	43,95	190,81
Cocina	403,81	43,04	446,85
Salón	514,46	158,65	673,11
			2025,02



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*

Marzo	
T.ext (°C)	T.int (°C)
11,90	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	10,47
Este	1,10	10,01
Sur	1,00	9,10
Oeste	1,05	9,56
Forjado	0,50	4,78

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	177,69	54,52	232,21
Dormitorio 2	83,46	30,10	113,57
Dormitorio 3	106,09	32,73	138,82
Baño 1	50,33	14,45	64,78
Baño 2	45,12	12,93	58,05
Distribuidor	124,91	37,38	162,28
Cocina	343,43	36,60	380,03
Salón	437,53	134,93	572,46
			1722,21

Abril	
T.ext (°C)	T.int (°C)
12,40	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	9,89
Este	1,10	9,46
Sur	1,00	8,60
Oeste	1,05	9,03
Forjado	0,50	4,52

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	167,93	51,52	219,45
Dormitorio 2	78,88	28,45	107,33
Dormitorio 3	100,26	30,94	131,20
Baño 1	47,57	13,66	61,22
Baño 2	42,64	12,22	54,86
Distribuidor	118,04	35,32	153,37
Cocina	324,56	34,59	359,15
Salón	413,49	127,52	541,01
			1627,58



Mayo	
T.ext (°C)	T.int (°C)
14,70	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	7,25
Este	1,10	6,93
Sur	1,00	6,30
Oeste	1,05	6,62
Forjado	0,50	3,31

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	123,02	37,74	160,76
Dormitorio 2	57,78	20,84	78,62
Dormitorio 3	73,45	22,66	96,11
Baño 1	34,85	10,00	44,85
Baño 2	31,24	8,95	40,19
Distribuidor	86,47	25,88	112,35
Cocina	237,76	25,34	263,10
Salón	302,91	93,41	396,32
			1192,30

Junio	
T.ext (°C)	T.int (°C)
17,60	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	3,91
Este	1,10	3,74
Sur	1,00	3,40
Oeste	1,05	3,57
Forjado	0,50	1,79

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	66,39	20,37	86,76
Dormitorio 2	31,18	11,25	42,43
Dormitorio 3	39,64	12,23	51,87
Baño 1	18,81	5,40	24,20
Baño 2	16,86	4,83	21,69
Distribuidor	46,67	13,96	60,63
Cocina	128,31	13,68	141,99
Salón	163,47	50,41	213,89
			643,46



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Julio	
T.ext (°C)	T.int (°C)
19,30	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	1,96
Este	1,10	1,87
Sur	1,00	1,70
Oeste	1,05	1,79
Forjado	0,50	0,89

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	33,20	10,18	43,38
Dormitorio 2	15,59	5,62	21,22
Dormitorio 3	19,82	6,12	25,93
Baño 1	9,40	2,70	12,10
Baño 2	8,43	2,42	10,85
Distribuidor	23,33	6,98	30,32
Cocina	64,16	6,84	70,99
Salón	81,74	25,21	106,94
			321,73

Agosto	
T.ext (°C)	T.int (°C)
20,30	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	0,80
Este	1,10	0,77
Sur	1,00	0,70
Oeste	1,05	0,73
Forjado	0,50	0,37

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	13,67	4,19	17,86
Dormitorio 2	6,42	2,32	8,74
Dormitorio 3	8,16	2,52	10,68
Baño 1	3,87	1,11	4,98
Baño 2	3,47	0,99	4,47
Distribuidor	9,61	2,88	12,48
Cocina	26,42	2,82	29,23
Salón	33,66	10,38	44,04
			132,48



Septiembre	
T.ext (°C)	T.int (°C)
18,80	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	2,53
Este	1,10	2,42
Sur	1,00	2,20
Oeste	1,05	2,31
Forjado	0,50	1,16

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	42,96	13,18	56,14
Dormitorio 2	20,18	7,28	27,46
Dormitorio 3	25,65	7,91	33,56
Baño 1	12,17	3,49	15,66
Baño 2	10,91	3,13	14,03
Distribuidor	30,20	9,04	39,23
Cocina	83,03	8,85	91,87
Salón	105,78	32,62	138,40
			416,36

Octubre	
T.ext (°C)	T.int (°C)
16,90	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	4,72
Este	1,10	4,51
Sur	1,00	4,10
Oeste	1,05	4,31
Forjado	0,50	2,15

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	80,06	24,56	104,62
Dormitorio 2	37,60	13,56	51,17
Dormitorio 3	47,80	14,75	62,55
Baño 1	22,68	6,51	29,19
Baño 2	20,33	5,83	26,16
Distribuidor	56,28	16,84	73,12
Cocina	154,73	16,49	171,22
Salón	197,13	60,79	257,92
			775,94





ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

Noviembre	
T.ext (°C)	T.int (°C)
12,90	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	9,315
Este	1,10	8,91
Sur	1,00	8,10
Oeste	1,05	8,505
Forjado	0,50	4,2525

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	158,17	48,53	206,69
Dormitorio 2	74,29	26,80	101,09
Dormitorio 3	94,43	29,14	123,57
Baño 1	44,80	12,86	57,66
Baño 2	40,16	11,51	51,67
Distribuidor	111,18	33,27	144,45
Cocina	305,69	32,58	338,27
Salón	389,45	120,10	509,55
			1532,96

Diciembre	
T.ext (°C)	T.int (°C)
11,10	21,00

Coeficiente de orientación		
Orientación	Coeficiente	$\Delta T$
Norte	1,15	11,385
Este	1,10	10,89
Sur	1,00	9,90
Oeste	1,05	10,395
Forjado	0,50	5,1975

Cargas térmicas de calefacción			
Estancia	$Q_{\text{transmisión}}$ (W)	$Q_{\text{renovación}}$ (W)	Total (W)
Dormitorio 1	193,32	59,31	252,62
Dormitorio 2	90,80	32,75	123,55
Dormitorio 3	115,42	35,61	151,03
Baño 1	54,76	15,72	70,48
Baño 2	49,09	14,07	63,16
Distribuidor	135,89	40,66	176,55
Cocina	373,62	39,82	413,44
Salón	476,00	146,79	622,79
			1873,61



Calculadas las cargas, se les multiplican por los grados día para obtener el consumo:

Consumo anual de calefacción			
Mes	$Q_{\text{calefacción}}$ (W)	GD_15	Consumo (kWh)
Enero	1968,24	141	277,52
Febrero	2025,02	138	279,45
Marzo	1722,21	110	189,44
Abril	1627,58	86	139,97
Mayo	1192,3	34	40,54
Junio	643,46	4	2,57
Julio	321,73	1	0,32
Agosto	132,48	0	0,00
Septiembre	416,36	2	0,83
Octubre	775,94	15	11,64
Noviembre	1532,96	76	116,50
Diciembre	1873,61	126	236,07
			1.294,87



## 8.6. ANEXO VI

En el presente anexo se encuentran los cálculos necesarios para realizar la comparativa propuesta en la memoria.

En primer lugar, se deben obtener los consumos eléctricos de la vivienda referentes a la producción de ACS y de calefacción.

En primer lugar, la demanda anual de ACS, presente en la tabla 6.17 es de: 2.202,14 kWh

Sin embargo, como el elemento generador de calor es una bomba de calor, el consumo eléctrico es bastante inferior. Para el cálculo de este consumo se divide entre el COP de la bomba (3,99), según lo explicado en la memoria.

Mensualmente, tenemos los siguientes consumos eléctricos por preparación de ACS:

Consumo elec. ACS		
Mes	$Q_{ACS}$ (kWh)	$Q_{elec}$ (kWh)
Enero	201,38	50,47
Febrero	181,89	45,59
Marzo	196,34	49,21
Abril	190,01	47,62
Mayo	186,27	46,68
Junio	170,52	42,74
Julio	171,17	42,90
Agosto	171,17	42,90
Septiembre	165,65	41,52
Octubre	181,24	45,42
Noviembre	185,14	46,40
Diciembre	201,38	50,47

Los consumos mensuales referentes a calefacción se encuentran detallados en el anexo anterior.

Para el cálculo del consumo eléctrico se divide entre el SCOP, según lo explicado en la memoria.

Mensualmente tenemos los siguientes consumos eléctricos por calefacción:



Consumo elec. Calefacción		
Mes	Q <sub>cale</sub> (kWh)	Q <sub>elec</sub> (kWh)
Enero	277,52	58,92
Febrero	279,45	59,33
Marzo	189,44	40,22
Abril	139,97	29,72
Mayo	40,54	8,61
Junio	2,57	0,55
Julio	0,32	0,07
Agosto	0,00	0,00
Septiembre	0,83	0,18
Octubre	11,64	2,47
Noviembre	116,5	24,73
Diciembre	236,07	50,12

Tras el cálculo de los consumos eléctricos, se realizan los cálculos referentes a los distintos supuestos:

En primer lugar, se propone la situación “habitual” de uso de un vehículo de combustión y sin instalación fotovoltaica.

El desplazamiento de referencia es de 20.000 km anuales y se supone un consumo del vehículo de 5 l/100km y un coste de 1,3 €/l.

Para realizar el cálculo de forma similar a los anteriores, se supone un consumo equitativo. Por tanto, el consumo diario es de:

$$\text{Desplazamiento diario: } \frac{20.000}{365} = 54,80 \text{ km}$$

$$\text{Consumo diario: } 54,80 \cdot \frac{5}{100} = 2,74 \text{ l}$$

Por tanto, el gasto de combustible es:

Gasto combustible			
Mes	Días	Consumo (l)	Gasto (€)
Enero	31	84,94	110,422
Febrero	28	76,72	99,736
Marzo	31	84,94	110,422
Abril	30	82,2	106,86
Mayo	31	84,94	110,422
Junio	30	82,2	106,86
Julio	31	84,94	110,422
Agosto	31	84,94	110,422
Septiembre	30	82,2	106,86



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*

Octubre	31	84,94	110,422
Noviembre	30	82,2	106,86
Diciembre	31	84,94	110,422
			1300,13

Los gastos eléctricos son los previamente calculados, además de los gastos referentes al propio uso de la vivienda que, como se expuso en la memoria, se obtuvieron de eurostat, siendo estos de 312,83 kWh mensuales.

En este caso, al carecer de paneles, no existen excedentes y todo el consumo eléctrico se factura según lo explicado en la memoria.

El gasto referente al vehículo de combustión se resume en la siguiente tabla:

Gasto total vehículo de combustión						
Mes	Q <sub>ACS</sub> (kWh)	Q <sub>cale</sub> (kWh)	Q <sub>elec.</sub> (kWh)	Gasto <sub>elec</sub> (€)	Gasto <sub>comb</sub> (€)	Gasto <sub>total</sub> (€)
Enero	50,47	58,92	422,22	137,56	110,422	247,98
Febrero	45,59	59,33	417,75	135,70	99,736	235,43
Marzo	49,21	40,22	402,26	131,28	110,422	241,70
Abril	47,62	29,72	390,17	127,33	106,86	234,19
Mayo	46,68	8,61	368,12	120,54	110,422	230,96
Junio	42,74	0,55	356,11	116,61	106,86	223,47
Julio	42,90	0,07	355,80	116,67	110,422	227,09
Agosto	42,90	0,00	355,73	116,64	110,422	227,07
Septiembre	41,52	0,18	354,52	116,11	106,86	222,97
Octubre	45,42	2,47	360,72	118,22	110,422	228,64
Noviembre	46,40	24,73	383,97	125,37	106,86	232,23
Diciembre	50,47	50,12	413,42	134,79	110,422	245,22
						2.796,96

El segundo caso de estudio se suponía el uso de un coche eléctrico con un consumo de 15 kWh/100 km, con un coste de 0,13 €/kWh y un desplazamiento anual de 20.000 km, sin la presencia de una instalación fotovoltaica.

De forma análoga al caso anterior, diariamente se tiene:

$$\text{Consumo diario: } 54,80 \cdot \frac{15}{100} = 8,22 \text{ kWh}$$

Por lo que, de forma mensual el coche consume:



Consumo coche eléctrico		
Mes	Días	Consumo (kWh)
Enero	31	254,82
Febrero	28	230,16
Marzo	31	254,82
Abril	30	246,60
Mayo	31	254,82
Junio	30	246,60
Julio	31	254,82
Agosto	31	254,82
Septiembre	30	246,60
Octubre	31	254,82
Noviembre	30	246,60
Diciembre	31	254,82

Al no tener instalación fotovoltaica, al consumo eléctrico total se le debe sumar el consumo del coche, realizándose la facturación de la misma forma:

Gasto total coche eléctrico sin paneles				
Mes	Consumo (kWh)	Q <sub>elec</sub> (kWh)	Q <sub>vivienda</sub> (kWh)	Gasto (€)
Enero	254,82	422,22	677,04	217,73
Febrero	230,16	417,75	647,91	208,11
Marzo	254,82	402,26	657,08	211,45
Abril	246,60	390,17	636,77	204,91
Mayo	254,82	368,12	622,94	200,71
Junio	246,60	356,11	602,71	194,19
Julio	254,82	355,80	610,62	196,83
Agosto	254,82	355,73	610,55	196,81
Septiembre	246,60	354,52	601,12	193,69
Octubre	254,82	360,72	615,54	198,38
Noviembre	246,60	383,97	630,57	202,95
Diciembre	254,82	413,42	668,24	214,96
				2.440,72

Finalmente, el tercer supuesto que falta por calcular corresponde con el uso de coche eléctrico con un consumo de 15 kWh/100 km, con un coste de 0,13 €/kWh y un desplazamiento anual de 20.000 km, con una instalación fotovoltaica sin baterías, con paneles de 455 W.

Similar al caso anterior, tenemos un consumo diario del coche de 8,22 kWh. Al no tener baterías, se realiza el consumo total de forma similar al caso anterior, es decir, se suma el consumo del coche al consumo del uso de la vivienda.



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*

La diferencia entre el caso anterior y este es que, al existir una instalación fotovoltaica sin baterías, tenemos una producción de electricidad que, como se explicó en la memoria, suponemos un 70% de esta producción como excedentes acogidos a compensación y el 30% restante se consume.

La producción de los paneles es de:

Producción eléctrica					
Mes	Radiación (kWh/m <sup>2</sup> )	Días	HSP	kWh/día	kWh/mes
Enero	74,00	31	2,39	8,21	254,55
Febrero	89,13	28	3,18	10,95	306,59
Marzo	131,15	31	4,23	14,55	451,13
Abril	145,55	30	4,85	16,69	500,66
Mayo	151,20	31	4,88	16,78	520,10
Junio	154,06	30	5,14	17,66	529,94
Julio	161,64	31	5,21	17,94	556,01
Agosto	158,37	31	5,11	17,57	544,76
Septiembre	148,68	30	4,96	17,05	511,43
Octubre	122,71	31	3,96	13,62	422,10
Noviembre	79,59	30	2,65	9,13	273,77
Diciembre	79,55	31	2,57	8,83	273,64

Ahora se puede calcular el gasto de este supuesto, realizando el cálculo de la factura de la luz como se expuso en la memoria, existiendo en este caso la compensación debido a los excedentes volcados a la red, resumiéndose los resultados en la siguiente tabla:

Gasto total coche eléctrico con paneles						
Mes	Q <sub>vivienda</sub> (kWh)	Producción (kWh)	Volcado (kWh)	Consumido (kWh)	Q <sub>total</sub> (kWh)	Gasto (€)
Enero	677,04	254,55	178,18	76,36	600,68	172,15
Febrero	647,91	306,59	214,61	91,98	555,93	153,20
Marzo	657,08	451,13	315,79	135,34	521,74	130,66
Abril	636,77	500,66	350,46	150,20	486,57	115,25
Mayo	622,94	520,10	364,07	156,03	466,91	107,57
Junio	602,71	529,94	370,95	158,98	443,73	99,29
Julio	610,62	556,01	389,21	166,80	443,81	97,26
Agosto	610,55	544,76	381,33	163,43	447,12	99,25
Septiembre	601,12	511,43	358,00	153,43	447,69	102,11
Octubre	615,54	422,10	295,47	126,63	488,92	122,79
Noviembre	630,57	273,77	191,64	82,13	548,43	153,93
Diciembre	668,24	273,64	191,55	82,09	586,15	165,96
						1.519,41



## **9. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **9.1. OBJETIVO**

El objetivo del Pliego de Condiciones es establecer el modo de ejecución del proyecto, considerando las condiciones generales, económicas, legales, facultativas y técnicas.

Las condiciones mínimas que deben cumplir las diferentes instalaciones del presente proyecto serán las estipuladas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por el REAL DECRETO 238/2013, y por el Código Técnico de la Edificación (CTE) aprobado por el REAL DECRETO 732/2019.

En caso de existir dudas tanto en la interpretación como en la aplicación de dichas condiciones serán resueltas por la Dirección Facultativa de la obra. Así mismo, deberán ser conocedores del presente pliego, tanto la empresa contratada como las diferentes subcontratas que intervengan.

### **9.2. DISPOSICIONES GENERALES**

#### **9.2.1. Contrato de obra**

Se recomienda realizar la contratación de la ejecución del proyecto por unidades de obra, a precio cerrado, con posibilidad de aumentar dichas unidades de obra en caso necesario, siempre con acuerdo previo entre la Dirección Facultativa y la contrata.

#### **9.2.2. Documentación del contrato de obra**

El contrato de obra es conformado por los siguientes documentos, ordenados por prelación en el caso de interpretaciones o contradicciones:

- Condiciones fijadas en el contrato de obra
- Pliego de Condiciones
- Documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos, memorias, anexos, mediciones y presupuestos.

Prevalecerán las especificaciones escritas sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas obtenidas de los planos a escala.

#### **9.2.3. Proyecto Arquitectónico**

Corresponde con el conjunto de documentos que definen y determinan las diferentes exigencias funcionales, técnicas y estéticas de las obras, las cuales se contemplan en el artículo 2 de la Ley de Ordenación de la Edificación. En él se encuentran las





justificaciones técnicas de las diferentes soluciones propuestas de acuerdo con las distintas especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

En el caso de que el proyecto o parte de este se desarrolle mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos sobre instalaciones del edificio o tecnologías específicas, se deberá de mantener entre todos ellos una correcta coordinación, sin que se produzca una duplicidad en la diferente documentación, ni en los honorarios a percibir por los operarios de los distintos trabajos indicados.

Los documentos complementarios al Proyecto son:

- Todos los planos o documentos necesarios para la correcta definición del Proyecto
- El Plan de Control de Calidad
- El Estudio de Seguridad y Salud
- El Plan de Seguridad y Salud
- Estudio de Gestión de Residuos
- Las diferentes licencias y autorizaciones administrativas necesarias para la correcta elaboración del Proyecto

#### **9.2.4. Reglamentación urbanística**

La obra se ajustará a las distintas limitaciones del proyecto aprobado por los distintos organismos competentes, fundamentalmente a las que se refieren a las alturas, volumen, emplazamiento y ocupación del terreno, así como de las condiciones de reforma del proyecto que pueda ser exigido por la Administración.

#### **9.2.5. Formalización del Contrato de Obra**

La formalización se realizará mediante documento privado. Dicho documento contendrá:

- La comunicación de la adjudicación
- Copia del recibo de la fianza (cuando se haya exigido)
- La cláusula en la que el Contratista expresa de forma explícita el cumplimiento estricto del contrato de la obra, según lo previsto en el presente Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y los diferentes Anexos, las Mediciones, Presupuestos, Planos y demás documentación que sirven de base para la correcta definición del presente Proyecto

Previa formalización del contrato de obra, el Contratista también deberá dar su conformidad mediante su firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos y Presupuesto General.

#### **9.2.6. Jurisdicción competente**

En caso de disconformidad entre ambas partes, todas las cuestiones motivo de discusión serán derivadas a las Autoridades y Tribunales Administrativos.



### **9.2.7. Accidentes de trabajo**

Es de obligado cumplimiento el Real Decreto 1627/1997, por el que se establecen las condiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción, y demás legislación vigente que, tanto de forma directa como indirecta, influyen sobre la planificación del Plan de Seguridad y Salud.

En virtud del Real Decreto 1627/97, es responsabilidad de la persona designada como Coordinador de Seguridad y Salud el control y seguimiento del Plan de Seguridad y Salud durante toda la ejecución de la obra.

### **9.2.8. Daños y perjuicios a terceros**

La responsabilidad de los accidentes ocurridos por inexperiencia o descuido que ocurran en la edificación, recaerán sobre el Contratista.

Asimismo, será responsable de los daños que se ocasionen como consecuencia tanto del no cumplimiento del presente Pliego de Condiciones, como de las indicaciones de la Dirección Facultativa.

### **9.2.9. Causas de rescisión del contrato de obra**

Se considerarán causas justificadas de rescisión de contrato:

1. La muerte o incapacitación del contratista
2. La quiebra del Contratista
3. La modificación del proyecto sin previo acuerdo con la Dirección Facultativa
4. La suspensión o paralización de la obra sin motivo justificado, durante un período mayor a un mes
5. El vencimiento del plazo de ejecución de la obra
6. La mala fe en la ejecución de la obra

## **9.3. DISPOSICIONES RELATIVAS A TRABAJOS, MATERIALES Y MEDIOS**

En este apartado se describen las disposiciones a considerar en la ejecución de las obras, en relación a los trabajos, materiales y medios auxiliares.

### **9.3.1. Accesos y vallados**

Los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de la misma y su mantenimiento durante la ejecución de ésta, será por cuenta del Contratista, pudiendo ser exigida una modificación o mejora por parte de la Dirección Facultativa.



### **9.3.2. Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos**

El contratista deberá dar comienzo a las obras en la fecha especificada en el respectivo contrato, salvo por causas justificadas y previa comunicación con la Dirección Facultativa.

Deberá desarrollar los trabajos dentro de los períodos parciales señalados, garantizando así la ejecución de la totalidad de la obra en el plazo indicado.

La Dirección Facultativa será encargada de redactar el acta de comienzo de la obra. Para la formalización de esta acta, la Dirección Facultativa comprobará que existe copia de los siguientes documentos:

- Proyecto de Ejecución y Anexos
- Plan de Seguridad y Salud
- Licencia de Obra otorgada por el Ayuntamiento correspondiente
- Comunicación de apertura de centro de trabajo
- Libro de Órdenes y Asistencias
- Libro de Incidencias

### **9.3.3. Orden de los trabajos**

Será por cuenta del Contratista la determinación del orden de los trabajos, exceptuando aquellos casos en los que, debido a circunstancias técnicas, se considere conveniente su variación por parte de la Dirección Facultativa.

### **9.3.4. Facilidades para subcontratistas**

El contratista deberá suministrar todas las facilidades razonables para la correcta realización de los trabajos que le sean adjudicados a los subcontratistas intervinientes en la ejecución de la obra.

En caso de disputa, todos ellos se ajustarán a lo dictado por la Dirección Facultativa.

### **9.3.5. Ampliación del proyecto**

En caso de requerir ampliación del Proyecto, los trabajos deberán ser continuados según las indicaciones de la Dirección Facultativa mientras se tramita el Proyecto Reformado, previo acuerdo por ambas partes en la aprobación de un presupuesto adicional.

### **9.3.6. Interpretaciones y aclaraciones del proyecto**

El Contratista podrá solicitar a la Dirección Facultativa todas las instrucciones o aclaraciones que se requieran para una correcta interpretación y ejecución de la obra.



Cualquier discrepancia que crea oportuno notificar el Contratista en contra de las directrices demandadas por la Dirección Facultativa, deberá de dirigirla en un plazo de tres días, a quien la hubiera dictaminado, el cual le dará el correspondiente recibo.

### **9.3.7. Prórroga de entrega de la obra**

Por causas de fuerza mayor y debidamente justificadas, el Contratista podrá solicitar una prórroga de la fecha de entrega de la obra si este tuviera que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados. Para ello, el Contratista deberá exponer por escrito a la Dirección Facultativa las diferentes causas que le impidan la ejecución de los trabajos en los tiempos estipulados y, ambas partes deberán acordar una nueva fecha de finalización.

### **9.3.8. Trabajos defectuosos**

El Contratista deberá usar materiales que cumplan con las distintas condiciones exigidas en el proyecto, realizando los trabajos contratados según lo estipulado.

Por ello, el Contratista es responsable de la ejecución de los trabajos y de los defectos que puedan existir por su mala ejecución hasta que haya sido examinado y reconocido por la Dirección Facultativa para la elaboración de las Certificaciones de obra. En caso de existir disconformidad entre ambas partes se deberá llegar a un consenso previo a la elaboración de la Certificación de obra.

Si la Dirección Facultativa tuviese razones fundadas para creer en la existencia de desperfectos de construcción en las obras ejecutadas podrá ordenar, cuando se estime oportuno, la realización de ensayos, destructivos o no, necesarios para comprobar o reconocer los trabajos ejecutados. En caso de existir trabajos mal ejecutados, el Contratista deberá demoler y reconstruir todas las unidades de obra mal ejecutadas a su cargo.

### **9.3.9. Procedencia de materiales, equipos y aparatos**

El Contratista dispone de libertad de proveerse de los materiales, equipos y aparatos de donde considere oportuno, excepto en aquellos casos en los que se especifique una procedencia y características específicas en el proyecto.

### **9.3.10. Limpieza de las obras**

El Contratista deberá mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, estando incluido en el presupuesto un precio de la correcta gestión de residuos.



## **9.4. DISPOSICIONES DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEXAS**

### **9.4.1. Consideraciones de carácter general**

La recepción de la obra es cuando, una vez finalizada esta, el Contratista hace entrega de la misma al Promotor.

La recepción deberá quedar reflejada en un acta firmada, como mínimo, por el Contratista y el Promotor, haciendo constar:

- Las partes intervinientes
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra
- El coste final de ejecución de la obra
- La declaración de recepción de la obra
- Las garantías exigidas al contratista

Además, se deberá adjuntar el certificado final de la obra, suscrito por la Dirección Facultativa.

### **9.4.2. Recepción provisional**

Treinta días antes de finalizar las obras se deberá comunicar a la Dirección Facultativa la proximidad de su finalización, a fin de concertar el acto de la recepción provisional.

Dicho acto se realizará con la intervención de la Dirección Facultativa, el Contratista y la Propiedad. Se deberá convocar también a los diferentes técnicos que hubieran intervenido en la obra. Tras un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta a cada interviniente y deberán estar firmadas por todos ellos. A partir de esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, siempre y cuando las obras se encuentren en estado de ser admitidas.

En caso de que las obras no se encuentren en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se deberá indicar al Contratista las oportunas directrices para subsanar los defectos detectados, fijando un plazo para subsanarlos. Una vez expirado dicho plazo, se realizará un nuevo reconocimiento a fin de realizar la recepción provisional de la obra.

### **9.4.3. Documentación final de la obra**

La Dirección Facultativa y el Contratista redactarán la documentación final de las obras, que será facilitada al Promotor, con las diferentes especificaciones y contenidos dispuestos por la legislación vigente que, en el caso de viviendas, se establece en el apartado 2 del artículo 4º del Real Decreto 515/1989, de 21 de abril.



#### **9.4.4. Medición definitiva y liquidación provisional de la obra**

Tras el recibimiento provisional de la obra se procederá de forma inmediata, por la Dirección Facultativa, a su medición definitiva en presencia del Contratista. Se extenderá por triplicado la oportuna certificación que, aprobada por la Dirección Facultativa mediante su firma, servirá para el abono por parte del Promotor del saldo resultante excepto la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### **9.4.5. Plazo de garantía**

El plazo de garantía será estipulado en el contrato y, en cualquier caso, su extensión nunca será inferior a seis meses.

#### **9.4.6. Conservación de las obras recibidas provisionalmente**

Los gastos de conservación generados durante el plazo de garantía entre las recepciones provisional y definitiva serán a cargo del Contratista.

En caso de que el edificio fuese usado u ocupado previamente a la recepción definitiva, dichos cargos de conservación y limpieza correrán a cargo de la Propiedad.

#### **9.4.7. Recepción definitiva**

La recepción definitiva se realizará transcurrida el plazo de garantía, de forma análoga que la provisional. A partir de esa fecha se darán por finalizadas las obligaciones del Contratista de reparar, bajo su cargo, aquellos desperfectos ocurridos con una normal conservación de la vivienda, quedando subsistentes las responsabilidades que puedan derivar vicios de construcción.

#### **9.4.8. Prórroga del plazo de garantía**

Si, tras el reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, ésta no se encontrase en las condiciones debidas, será aplazada dicha recepción y la Dirección Facultativa indicará al Contratista los nuevos plazos y directrices en que deberán realizarse las obras pertinentes.

#### **9.4.9. Recepciones de trabajos cuya contrata ha sido rescindida**

En caso de resolución del contrato, el Contratista deberá retirar, en un plazo previamente fijado, la maquinaria, medios auxiliares e instalaciones y dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.



Las obras y trabajos finalizados por completo serán recibidos mediante los trámites establecidos anteriormente. Una vez transcurrido el correspondiente plazo de garantía, se recibirán definitivamente.

En el caso de que existan trabajos no finalizados, pero aceptados por la Dirección Facultativa, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## **9.5. DISPOSICIONES FACULTATIVAS**

En este apartado se establecen las diferentes funciones técnicas de las entidades intervinientes en el proyecto.

### **9.5.1. Arquitecto**

1. Comprobar la correcta cimentación
2. Redactar las modificaciones del proyecto o complementos de éste que se requieran
3. Asistir a las obras con el objetivo de resolver las diferentes contingencias que se puedan producir e impartir las instrucciones necesarias para la correcta solución arquitectónica
4. Coordinar la intervención en la obra de los diferentes técnicos que intervengan
5. Aprobar las certificaciones de obra, la liquidación final y asesorar al Promotor en la recepción de ésta
6. Preparar la documentación final de la obra
7. Los diferentes certificados que se le soliciten al Arquitecto y que hagan referencia a temas de instalaciones, que deberán ser redactados y firmados tanto por el Arquitecto como por la empresa instaladora que intervenga.
8. Todas las obligaciones exigidas a la Dirección Facultativa expuestas en el presente Pliego de Condiciones

### **9.5.2. Aparejador o Arquitecto técnico**

1. Redactar el documento de análisis del Proyecto
2. Planificar el control de calidad y económico de la obra
3. Redactar el estudio de los riesgos de trabajo y aprobar el Plan de Seguridad y Salud
4. Revisar el replanteo de la obra y elaborar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Arquitecto y el Contratista
5. Realizar la comprobación tanto de las instalaciones provisionales como de los medios auxiliares, controlando su correcta ejecución
6. Ordenar y dirigir la ejecución material según proyecto y normativa
7. Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra que se requieran
8. Realizar la medición de obra ejecutada durante las certificaciones de obra
9. Suscribir, junto con el Arquitecto, el certificado final de obra
10. Todas las obligaciones exigidas a la Dirección Facultativa expuestas en el presente Pliego de Condiciones



### **9.5.3. El Contratista**

1. Organizar los diferentes trabajos de construcción
2. Suscribir, junto con la Dirección Facultativa, el acta de replanteo de la obra
3. Dirigir el personal que intervenga en la obra, así como de las diferentes subcontratas que requiera
4. Asegurar el suministro y calidad de todos los materiales y elementos constructivos que se utilicen
5. Facilitar a la Dirección Facultativa los materiales o ensayos que se le requieran
6. Preparar las certificaciones de obra
7. Suscribir, junto con el Promotor, las actas de recepción provisional y definitiva
8. Concertar los seguros de accidentes y de daños a terceros durante la obra
9. El vallado y, en caso necesario, el vigilante encargado de la obra
10. La ejecución y puesta en obra de las instalaciones auxiliares necesarias, además de las protecciones y señalizaciones
11. Instalación de vestuarios de personal
12. Todas las obligaciones exigidas al Contratista expuestas en el presente Pliego de Condiciones

## **9.6. DISPOSICIONES ECONÓMICAS**

### **9.6.1. Forma de medición**

La medición de las unidades de obra se realizará aplicando a cada unidad de obra la unidad de medida que sea aprobada, siendo estas las adoptadas en el presupuesto del proyecto.

Tanto las mediciones parciales como las ejecutadas al final de la obra, se realizarán de forma conjunta entre la Dirección Facultativa y el Contratista.

### **9.6.2. Valoraciones**

Las valoraciones de las distintas unidades de obra del presente proyecto se efectuarán multiplicando las mediciones realizadas por el precio asignado a las mismas en el presupuesto.

El precio asignado a las unidades de obra deberá corresponder con el necesario para la correcta ejecución de dicha unidad, incluyendo los gastos de transporte, instalaciones y medios auxiliares necesarios...

### **9.6.3. Valoraciones de las obras no incluidas en el presupuesto**

Las valoraciones se realizarán de forma conjunta entre la Dirección Facultativa y el Contratista, debiendo ser aprobada previamente a la ejecución de dichas unidades añadidas por el Promotor.





#### **9.6.4. Relaciones valoradas**

La Dirección Facultativa realizará, de forma mensual, una relación valorada de los trabajos realizados. El Contratista, quién estará presente en dicha valoración y medición, dispone de un plazo de diez días para presentar las reclamaciones que estime convenientes.

#### **9.6.5. Obras que se abonarán al contratista y precio de las mismas**

Tanto en las certificaciones mensuales como en la liquidación final, se abonarán las obras realizadas por el Contratista a los precios que figuran en el Presupuesto para cada unidad de obra correspondiente.

Cuando se requiera emplear materiales o ejecutar unidades de obra que difieran o no figuren en el Proyecto, se realizará una valoración de su importe, debiendo ser aprobada por la Dirección Facultativa y el Promotor mediante la firma de un presupuesto aparte, de dichos materiales o unidades de obra.

#### **9.6.6. Abono de las partidas alzadas**

En el caso de existir partidas alzadas con respecto a lo figurado en el Proyecto, deberán ser justificadas y aprobadas por la Dirección Facultativa, siendo el precio de estas el que figura en la unidad de obra correspondiente en el presupuesto del Proyecto.

Una vez realizadas dichas unidades de obra, será abonado el importe al Contratista en la correspondiente Certificación de obra.

#### **9.6.7. Revisión de los precios contratados**

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no será admisible la revisión de precios en tanto que el incremento no alcance, en la suma de todas las unidades de obra que falten por realizar según el calendario, un montante superior al tres por ciento del importe total del presupuesto contratado.

### **9.7. CONDICIONES TÉCNICAS**

#### **9.7.1. Instalación de Agua Caliente Sanitaria (ACS)**

Las instalaciones de Agua Caliente Sanitaria (ACS) son aquellas que distribuyen agua de consumo sometida a un tratamiento de calentamiento y, por ello, además de cumplir las especificaciones dispuestas en el Real Decreto 865/2003, deben cumplir los requisitos exigidos en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen diferentes criterios sanitarios referentes a la calidad del agua de consumo humano.



#### 9.7.1.1. Clasificación general de las instalaciones de Agua Caliente Sanitaria:

Las instalaciones de ACS se pueden clasificar en los siguientes grupos:

##### A) Por su capacidad

Individuales: cuando solo tienen capacidad para un grupo muy limitado de aparatos

Centralizados: tienen capacidad para abastecer a un importante número de aparatos, siendo habitual su colocación en la sala de máquinas de los edificios

##### B) Por su función

Exclusivos: cuando el elemento generador de calor sirve solo para la instalación de ACS

Mixtos: cuando el elemento de generador de calor sirve tanto para la instalación de ACS como a la instalación de calefacción

##### C) Por el sistema de producción de ACS

Instantáneo: el agua se calienta cuando se demanda su consumo

De acumulación: el agua es preparado previamente y se almacena en un depósito

#### 9.7.1.2. Componentes genéricos de la instalación para la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Una instalación de producción, acumulación y suministro de ACS podrá estar integrada por los siguientes elementos:

- Acometida de agua Fría de Consumo Humano (AFCH): elemento encargado de aportar el agua para consumo humano, suministrada a través de la red de distribución de los sistemas de abastecimiento de aguas, constituidos normalmente por grupos de presión con una válvula antirretorno y depósitos aljibes, contador, filtros, sistema de purga, etc.
- Elemento generador de calor: elemento o conjunto de elementos encargados de elevar la temperatura del agua de la red, tales como calderas o bombas de calor.
- Red de suministro: conjunto de tuberías que transportan el agua calentada a los elementos terminales que la requieran.
- Elementos terminales: grifos, lavabos, duchas, etc., que permiten el uso del ACS.
- Acumulador: depósito o conjunto de depósitos encargados de almacenar el agua caliente hasta que se requiera su uso, permitiendo de esta forma una menor potencia de caldera.



- Circuito de retorno: red de tuberías encargadas de transportar el agua de regreso hasta el acumulador, con la finalidad de mantener un nivel estable de agua caliente en toda la red de suministro.

### **9.7.2. Generador de calor**

En el presente proyecto, como elemento generador de calor se ha escogido una bomba de calor de circuito tipo aire-agua.

El emplazamiento de la unidad exterior será a discreción de la empresa instaladora, debiéndose priorizar una zona soleada y protegida de los vientos dominantes.

Además, deberá estar perfectamente accesible para posteriores trabajos de mantenimiento, se deberán respetar las distancias mínimas de instalación facilitadas por el fabricante y se procurará una distancia mínima del cableado necesario, perforando lo mínimo posible las paredes de la vivienda.

Si dicho emplazamiento se encuentra cerca de otras viviendas, se podrá colocar una pantalla acústica para reducir la contaminación acústica.

Si existe riesgo de molestias producidas por condensación de agua se instalará un desagüe en dicha zona.

En cuanto al módulo interior, será colocado en el cuarto de instalaciones existente en la planta baja de la vivienda.

En dicho cuarto se ubicarán también el vaso de expansión y la bomba de impulsión necesarios para la instalación de calefacción.

### **9.7.3. Acumulador**

Es el elemento encargado de satisfacer los caudales de consumo “punta”, sin que resulte perjudicada la estabilidad de la temperatura del agua.

En el presente proyecto, el acumulador está integrado en la unidad interior de la bomba de calor, por lo que se ubicará en el cuarto de instalaciones ubicado en la planta baja de la vivienda.

Corresponde con un interacumulador, debido a que el elemento intercambiador de calor se encuentra en el interior de la carcasa. El intercambiador suele consistir en un haz tubular, a través del cual circula agua caliente (generado por la bomba de calor) y calienta el agua presente en el interior de la carcasa.

El fabricante deberá asegurar que el intercambiador se construye con materiales resistentes a la corrosión.



#### **9.7.4. Red de suministro**

Las tuberías de la red de suministro estarán compuestas por materiales tales como el acero inoxidable, el cobre o plásticos (polibutileno (PB), polipropileno (PP), polietileno (PEX), etc.), considerando el grado de agresividad del agua frente a los materiales, los efectos que puedan generar las características del agua y en función de la experiencia de instalaciones similares ya realizadas.

En caso de utilizar acero galvanizado se tendrá presente que, según la composición química del agua, puede presentar procesos de corrosión a partir de los 50°C.

Queda descartado el uso de tuberías de cobre siempre que precedan a tuberías de acero galvanizado, a fin de evitar corrosión galvánica, la cual ocurre cuando se unen tuberías de diferentes metales y potencial eléctrico. Además, tampoco se instalarán en caso de que el agua tenga un pH bajo, ya que puede atascar las tuberías, causar fugas y roturas.

#### **9.7.5. Sistema de calefacción**

El sistema de calefacción se realizará mediante suelo radiante de tipo A, irá colocado sobre el panel aislante del suelo, quedando en el interior del pavimento.

Las tuberías serán de polietileno reticulado con barrera anti-oxígeno.

La instalación se realizará según lo dimensionado bajo los criterios de la norma UNE-EN 1264.

Previamente al montaje del suelo radiante se deberá realizar la limpieza del suelo, debiendo quedar sin irregularidades y sin escombros.

La instalación del sistema comenzará por la colocación de la banda de dilatación periférica. Ésta, deberá estar compuesta por espuma de polietileno e ira situada a lo largo de las paredes de la vivienda.

Para evitar la formación de puentes térmicos, la banda será solapada 4 cm sobre los empalmes. La banda periférica o el rodapié deberá ser aproximadamente 2 cm más alto que la altura prevista del suelo.

No se cubrirán o recortarán los rodapiés hasta estar colocado el revestimiento del suelo.

##### **9.7.5.1. Prueba de estanqueidad**

Una vez finalizada la instalación y previo a colocar el revestimiento del suelo, se comprobará la estanqueidad de los circuitos mediante un ensayo de presión de agua.

La prueba deberá realizarse abriendo los circuitos uno a uno, a una presión y duración a discreción por la empresa instaladora, de tal forma que asegure la ausencia de fugas en las tuberías y sus conexiones.



#### 9.7.5.2. *Sistemas de control*

Se deberán ajustar a los diferentes componentes del sistema de control, los parámetros de diseño establecidos en la memoria del presente proyecto, y se deberá comprobar una vez instalados su correcto funcionamiento.

La centralita deberá instalarse en un lugar que reúna las siguientes condiciones:

- Bajo nivel de interferencia electromagnética.
- Evitar en la medida de lo posible la incidencia directa de fuentes de calor.
- Ausencia de golpes y/o vibraciones.
- Ambientes no polutivos.
- Humedad relativa menor al 90%.

La sonda interior de temperatura será ubicada preferentemente en el estar/comedor, ya que se trata de la zona más transitada.

La sonda exterior se ubicará en la fachada norte de la vivienda, priorizando la zona más climatológicamente desfavorable.

#### **9.7.6. Sistema de ventilación**

El sistema de ventilación deberá satisfacer las exigencias establecidas por el DB-HS3 del Código Técnico de la Edificación.

Las viviendas deben disponer de un sistema de ventilación, ya sea híbrida o mecánica, con las siguientes características:

- El aire deberá circular desde los locales secos a los húmedos. Para ello, los dormitorios, sala de estar y comedores deben disponer de aberturas de admisión, mientras que los baños y cocina contarán con aberturas de extracción.
- Como aberturas de admisión, se deben disponer aberturas dotadas de aireadores o bien aperturas fijas de la carpintería.
- En caso de ventilación híbrida, las aberturas de admisión deberán comunicar directamente con el exterior.
- Los aireadores se deben disponer a una distancia del suelo mayor que 1,80 m.
- En caso de la existencia de un local con extracción esté compartimentado, se deben disponer aberturas de paso entre dichos compartimentos.
- Las aberturas de extracción se conectarán a conductos de extracción y se dispondrán a una distancia del techo menor a 200 mm y a una distancia de cualquier esquina mayor a 100 mm.



- Un mismo conducto de extracción puede ser compartido por varias aberturas de extracción.
- Los dormitorios, comedores y cocina deben disponer de un sistema complementario de ventilación natural. Para ello, deben disponer de una ventana o puerta exterior.
- Las cocinas han disponer de un sistema adicional de ventilación mecánica para los vapores y los diferentes contaminantes de la cocción. Para ello se dispondrá un extractor conectado a un conducto independiente de extracción a los de ventilación.

#### *9.7.6.1. Aberturas y bocas de ventilación*

Las aberturas en contacto con el exterior se dispondrán de manera que se evite la entrada de agua de lluvia, o se las dotarán de elementos protectores para evitar tal fin.

Las aberturas de expulsión se situarán en la cubierta del edificio, debiendo estar separadas al menos 3 m de cualquier elemento de entrada de ventilación, y de los espacios donde pueda haber tránsito de personas de forma habitual.

#### *9.7.6.2. Conductos de admisión*

Los conductos deberán tener una sección uniforme y carecerán de obstáculos en todo su recorrido. Además, deben disponer de un acabado que dificulte su ensuciamiento y serán practicables para su registro y limpieza cada 10 m como máximo a lo largo de su recorrido.

#### *9.7.6.3. Conductos de extracción*

Los conductos de extracción dispondrán de un aspirador mecánico emplazado después de la última abertura de extracción y en sentido del flujo del aire.

Los conductos deben disponer de un acabado que dificulte su ensuciamiento y serán practicables para su registro y limpieza en la coronación.

Si se prevé que en las paredes de los conductos se pueda alcanzar la temperatura de rocío, estos serán aislados térmicamente de tal forma que se evite la producción de condensaciones.

#### *9.7.6.4. Aspiradores mecánicos y extractores*

Los aspiradores serán ubicados en lugar accesible para realizar su limpieza.

Previamente a los extractores de las cocinas, se dispondrá un filtro de grasas y aceites dotado de un dispositivo encargado de indicar cuando debe reemplazarse dicho filtro.



### **9.7.7. Instalación fotovoltaica**

#### *9.7.7.1. Generadores fotovoltaicos*

Todos los módulos deberán cumplir las especificaciones UNE-EN61216 para módulos de silicio cristalino, y las especificaciones UNE-EN 61730-1 y UNE-EN 61730-2 sobre seguridad en módulos fotovoltaicos. Dicho requisito será justificado mediante la presentación del certificado oficial correspondiente.

Los módulos llevarán de forma visible el modelo, nombre o logotipo del fabricante y el número de serie. Además, deberán llevar diodos de derivación para evitar posibles averías de las células y sus circuitos debido al sombreado parcial, y tendrán un grado de protección IP 65.

Se instalarán los elementos necesarios para la desconexión, de forma independiente y en ambos terminales de cada una de las ramas del generador.

#### *9.7.7.2. Estructura soporte*

Se dispondrán de la estructura soporte y todos los accesorios requeridos para el montaje de los módulos.

La estructura soporte de los módulos debe resistir, una vez instalados los módulos, las sobrecargas del viento y nieve, de acuerdo con lo establecido en el Código Técnico de la Edificación.

La tornillería empleada será de acero inoxidable. En caso de que la estructura sea galvanizada serán admitidos tornillos galvanizados, exceptuando los de sujeción de los módulos, que serán obligatoriamente de acero inoxidable.

Los módulos y la estructura de soporte serán colocados de forma que se respete la distancia entre ambos para evitar que arroje sombra entre módulos.

#### *9.7.7.3. Inversor*

Los inversores serán de onda senoidal pura, siendo admitido el uso de inversores de onda no senoidal cuando su potencia nominal sea inferior a 1 VA, no producen daño a las cargas y aseguran una correcta operación de las mismas.

El inversor escogido debe asegurar una correcta operación en todo el margen de tensiones de entrada permitidas por el sistema. Así mismo, debe ser capaz de entregar la potencia nominal de forma continuada, en el margen de temperatura ambiente especificado por el fabricante.

El inversor debe arrancar y operar todas las cargas presentes en la instalación, especialmente aquellas que requieren elevadas corrientes de arranque, sin interferir en su



correcta operación ni en el resto de cargas. Además, el autoconsumo del inversor sin carga conectada deberá ser menor o igual al dos por ciento de la potencia nominal de salida.

#### *9.7.7.4. Cableado*

Todo el cableado debe cumplir con lo establecido en la legislación vigente.

Los conductores tendrán la sección adecuada para reducir las caídas de tensión y los calentamientos, asegurando que la caída de tensión sea siempre inferior al 1,5 por ciento de la tensión nominal del sistema.

Los cables de exterior deberán estar protegidos contra la intemperie.

Los positivos y negativos de la parte continua de la instalación serán conducidos por separado, protegidos y señalizados de acuerdo a la normativa vigente.

#### *9.7.7.5. Protecciones y puesta a tierra*

El sistema de protecciones debe asegurar a las personas frente a contactos tanto directos como indirectos, sin alterar las condiciones de seguridad del resto de las instalaciones existentes.

Además, la instalación estará protegida frente a sobrecargas, sobretensiones y cortocircuitos.





## 10. PRESUPUESTO

Finalmente se propone la valoración económica tanto de la envolvente térmica como de las instalaciones propuestas:

### Presupuesto

<b>Código</b>	<b>Nat</b>	<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	<b>Capítulo</b>		<b>ENVOLVENTE TÉRMICA</b>			
1.01	Partida	m2	CUBIERTA  Cubierta invertida no transitable constituida por: tendido de mortero de cemento de 2.5 cm. de espesor, lámina asfáltica de betún elastómero SBS, aislamiento térmico de poliestireno expandido de 120 mm. de espesor, capa PVC, extendido de una capa de canto rodado (grava) de 5 cm. de espesor, finalizando en el forjado reticular.	111,80	60,00	6.708,00
1.02	Partida	m2	FACHADA  Cerramiento formado por enlucido de yeso, fábrica de ladrillo cerámico hueco doble de 15 cm de espesor, cámara de aire de 2 cm y tabicón de ladrillo cerámico hueco doble 13 cm de espesor, mortero adhesivo para colocación de panel aislante, panel de aislamiento térmico SATE mediante placas rígidas de poliestireno expandido EPS de 80 mm. de espesor, finalizando en mortero para revoco.	90,12	120,00	10.814,40
1.03	Partida	m.	FORJADO  Suelo de la vivienda formado por parquet, mortero de cemento de 4 cm de espesor, aislamiento termico mediante placas de poliestireno expandido EPS de 50 mm. de espesor, finalizando en forjado reticular	111,80	80,00	8.944,00
<b>TOTAL CAPÍTULO 1</b>					<b>26.466,40</b>	
<b>2</b>	<b>Capítulo</b>		<b>CARPINTERÍA</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
2.01	Partida	m2	VENT.PVC.OSCIL. 2HOJAS  Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, en ventanas oscilobatientes de 2 hojas para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4 y cajón de persiana VEKAVARIANT 2.0 de 175 mm para dormitorios 1.	2,20	650,00	1.430,00
2.02	Partida	m2	VENT.PVC.OSCILO 1 HOJA	1,93	650,00	1.251,25



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Manuel Antonio Ceballos Montalvo



			Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, en ventana oscilobatiente de 1 hoja para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4 y cajón de persiana VEKAVARIANT 2.0 de 175mm para instalar en baños.			
2.03	Partida	m2	VENT.PVC.OSCULO 1 HOJA	1,38	650,00	893,75
			Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, en ventana oscilobatiente de 1 hoja para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4 y cajón de persiana VEKAVARIANT 2.0 de 175mm para instalar en distribuidor.			
2.04	Partida	m2	CARP.PVC .P.T FIJO+ PUERTA	34,52	650,00	22.438,00
			Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, con una puerta practicable de 1 hoja para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4, con carpinteria fija en los cantos del forjado, compuesta por cerco, hoja y herrajes de colgar y de seguridad y cajón de persiana VEKAVARIANT 2.0 de 210mm para instalar en cocina y salón.			
2.05	Partida	m2	VENT.PVC.OSCIL. 2HOJAS	5,04	650,00	3.276,00
			Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, en ventanas oscilobatientes de 2 hojas para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4 y cajón de persiana VEKAVARIANT 2.0 de 175 mm para dormitorios 2 y 3.			
2.06	Partida	m2	VENT.PVC. FIJA	2,30	500,00	1.150,00
			Carpintería de PVC 70 de doble junta con 5 cámaras de aire de CARPIN-SYSTEM, color blanco, en ventana fija para acristalar con vidrio bajo emisivo climalit 4/16/4 para instalar en distribuidor			

**TOTAL CAPÍTULO 2**

**30.439,00**

<b>3</b>	<b>Capítulo</b>	<b>INSTALACIONES</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
3.01	Partida	ud	Instalación de Aeroterminia	1,00	6.700,00
			Suministro e instalación de instalación de aeroterminia modelo Genia Air Max 6 de Saunier Duval, formado por una unidad exterior y una interior con un depósito de ACS de 185 l con un tiempo de calentamiento de 125 minutos y un SCOP de 4,71.		
3.02	Partida	m2	SUELO RADIANTE UPONOR C/REG. GENIUS	111,80	60,00
					6.708,00



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS  
*EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN*



Calefacción por suelo radiante sistema Uponor, con agua a baja temperatura, circulando en circuito cerrado por tuberías de polietileno reticulado Uponor Wirsbo-evalPEX 16x 2.0 con una longitud máxima de 840 m, distribuidos en 11 circuitos, según Norma UNE-EN ISO 15875, con zócalo o banda perimetral de espuma de polietileno, Kit completo de colectores de polisulfona (provisto de colector de ida, colector de retorno, detentores, purgadores automáticos, válvulas de paso, termómetros, llaves de llenado y vaciado, tapones, soportes y adaptadores Uponor Q&E o tradicionales), aditivo para mortero Uponor, caja para colectores, p.p. para sistema de regulación Uponor Wirsbo Genius con módulo de control, termostato transmisor por radio control, cabezal electrotérmico, caja de conexión, grupo 22N de impulsión Uponor (provisto de circulador, sonda de contacto, By-pass con válvula tarada, y válvula mezcladora de 3 vías). Totalmente instalado. (No incluye equipo de producción de calor).

3.03	Partida	ud	INSTALACION VENTILACION	1,00	4.500,00	4.500,00
Suministro e instalación de ventilación para vivienda unifamiliar (según CTE-HS-3 calidad del aire interior) con extracción e impulso mecánico con recuperación de calor mediante sistema Duo Optimo mecánico Hábitat individual formado por Grupo de ventilación modelo DEE-FLY 90 de expulsión e impulsión con intercambiador estático reversible monobloque con recuperador de energía de hasta el 90%.						
3.04	Partida	ud	BOMBA DE CIRCULACIÓN	1,00	150,00	150,00
Bomba de circulación wilo Star RS-15/4 de rotor húmedo, con motor resistente al bloqueo, rodete de plástico reforzado con fibra de vidrio, eje de acero inoxidable con cojinetes de deslizamiento de carbón, presión máxima de trabajo de 10 bar y rango de temperatura de trabajo desde -10°C hasta 110°C.						
3.05	Partida	ud	VASO DE EXPANSIÓN	1,00	45,00	45,00
Vaso de expansión modelo 11 CMR de 11 litros de Salvador Escoda, membrana según DIN 4807 de hasta 10 bar de presión y rango de temperatura de trabajo desde -10°C hasta 100°C.						
TOTAL CAPÍTULO 3					18.103,00	
TOTAL PRESUPUESTO					75.008	



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Manuel Antonio Ceballos Montalvo



EXTRA	Capítulo		I. FOTOVOLTAICA	Cantidad	Precio	Total
EXTRA	Partida	Ud.	Kit Autoconsumo Directo 1500W	1,00	1.350,00	1.350,00
Suministro de Kit de Autoconsumo Directo de 1500W, compuesto por 4 paneles de 400 W a 24 V monocristalino, 1 inversor de conexión de red Solax X-1 mini 1700 VA, 1 vatímetro Easton SDM230 Modbus, 20 metros de cable rojo PV ZZ-F de 6mm2 y 20 metros de cable negro PV ZZ-F de 10mm2, 1 conector MC4 y estructura metálica de inclinación regulable para cubiertas planas.						
TOTAL EXTRA					1.350,00	

Total ejecución material		76.358,00
Gastos generales	13%	9.926,54
Beneficio industrial	6%	4.581,48
I.V.A.	21%	16.035,18
Total presupuesto general		106.901,2

El total de este presupuesto asciende a: CIENTO SEIS MIL NOVECIENTOS UN EUROS con VEINTE CÉNTIMOS.



## 11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Unión Europea. Directiva (UE) 2010/31 del parlamento europeo y del consejo, de 19 de mayo de 2010, que modifica la Directiva 2002/91/CE en lo que respecta a la eficiencia energética de los edificios. Diario oficial de la Unión Europea L 153/13, 18 de junio de 2010. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2010/153/L00013-00035.pdf>
- [2] IDAE. *Consumos del Sector Residencial en España*. 2020. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos Documentacion Basica Residencial Unido\\_c93da537.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos Documentacion Basica Residencial Unido_c93da537.pdf)
- [3] *Eco-house*. [En línea] [Consulta: 15 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.eco-house.es/casa-pasiva/>
- [4] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Documento básico de ahorro de energía*. Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [5] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Guía de aplicación del DB-HE 2019*. Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Guia\\_aplicacion\\_DBHE2019.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/GuiasyOtros/Guia_aplicacion_DBHE2019.pdf)
- [6] *Aislamiento térmico por el exterior vs por el interior*. [En línea] 15 de marzo de 2017. [Consulta: 22 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://rehabilitacionenergetica.com/razones-para-utilizar-el-aislamiento-termico-por-el-exterior/>
- [7] Iturbe, Mikel. [En línea] 27 de abril de 2018. *Qué es el sistema SATE y cómo se instala*. Caloryfrio. [Consulta: 22 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://blog.caloryfrio.com/sate-sistema-de-aislamiento-termico-por-el-exterior/>
- [8] *El efecto chimenea en las fachadas ventiladas*. [En línea] [Consulta: 26 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/efecto-chimenea/>
- [9] *Espuma de poliuretano proyectado y aislamiento térmico*. [En línea] [Consulta: 2 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://taraspol.es/productos/espuma-proyectada-aislamiento-termico/>
- [10] Arnabat, I. [En línea] 16 de abril de 2020. *Tipos de aislamiento térmico para fachadas: ¿Cómo rehabilitar correctamente tu vivienda?* [Consulta: 2 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/tipos-aislamiento-termico-para-fachadas-rehabilitar-vivienda-infografia.html>
- [11] *Vidrios bajo emisivo*. [En línea] 28 de marzo de 2016. [Consulta: 5 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.onventanas.com/vidrios-bajo-emisivo/>



- [12] *La orientación del baño ¿Es importante?* [En línea] 12 de marzo de 2015. [Consulta: 14 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://blog.securibath.com/2015/03/12/%C2%BFhacia-donde-debe-estar-orientado-un-bano/>
- [13] JGF arquitectos. *La importancia de la luz natural en la vivienda*. [En línea] 20 de noviembre de 2018. [Consulta: 10 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.arquitectoscantabria.es/noticia/importancia-luz-natural-vivienda-4.html>
- [14] Romero Alonso, J. [En línea] 11 de diciembre de 2017. *Climatización eficiente en tu vivienda: ventilación mecánica con recuperación de calor*. [Consulta: 16 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.arrevol.com/blog/climatizacion-eficiente-en-tu-vivienda-ventilacion-mecanica-de-confort-con-recuperacion-de-calor>
- [15] IDAE. *Síntesis del estudio parque de bombas de calor en España*. 2014. Disponible en: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Bombas-de-calor\\_FINAL\\_04ee7f42.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Bombas-de-calor_FINAL_04ee7f42.pdf)
- [16] *Calefacción por suelo radiante: criterios de diseño y cálculo*. [En línea] [Consulta: 26 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2018/11/calefaccion-por-suelo-radiante-criterios-de-diseno-y-calculo/>
- [17] *Aeroterminia; Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas*. [En línea] [Consulta: 1 de abril de 2021]. Disponible en: <https://ovacen.com/aeroterminia/>
- [18] Planas, O. [En línea] 13 de mayo de 2015. *Efecto fotovoltaico*. [Consulta: 3 de abril de 2021]. Disponible en: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efecto-fotovoltaico>
- [19] *Tipos de paneles fotovoltaicos*. [En línea] 25 de noviembre 2014. [Consulta: 3 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>
- [20] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Documento de apoyo DB-HE1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*. Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA\\_DB-HE-1\\_Calculo\\_de\\_parametros\\_caracteristicos\\_de\\_la\\_envolvente.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf)
- [21] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v06.3\\_marzo\\_10.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Programas/CEC/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf)
- [22] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Documento de apoyo DB-HE3 Puentes térmicos*. Disponible en: [https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3\\_Puentes\\_termicos.pdf](https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA-DB-HE-3_Puentes_termicos.pdf)



- [23] RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. 2013.
- [24] Carrier air conditioning company. *Manual de aire acondicionado*. 5ª edición. Barcelona. Marcombo BOIXAREU, 1980.
- [25] IDAE. *Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto*. Madrid. Ahorro y Eficiencia de Energética en Climatización, 2010. ISBN: 978-84-96680-56-2. Disponible en:  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_12\\_Guia\\_tecnica\\_condiciones\\_climaticas\\_exteriores\\_de\\_proyecto\\_e4e5b769.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf)
- [26] Asociación Española de Normalización. (2004). *Climatización. Bases para el proyecto. Condiciones exteriores de cálculo* (UNE 100014:2004)
- [27] IDAE. *Guía técnica. Agua caliente sanitaria central*. Madrid. Ahorro y Eficiencia de Energética en Climatización, 2010. ISBN: 978-84-96680-52-4. Disponible en:  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_08\\_Guia\\_tecnica\\_agua\\_caliente\\_sanitaria\\_central\\_906c75b2.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf)
- [28] CTE, Código Técnico de la Edificación. 2019. *Documento básico de Salubridad*. Disponible en:  
<https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HS/DBHS.pdf>
- [29] Asociación Española de Normalización. (2017). *Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios* (UNE 149201:2017)
- [30] Asociación Española de Normalización. (2013). *Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo* (UNE-EN 1264-2:2009+A1:2013)
- [31] Alarcia, J., Castaño, I., Castellá, J., Espiñeira, S., Goiri, G., Hernández, J., Jiménez, A. *Guía de suelo radiante*. Madrid. Gráficas Arias Montano, S.A, 2017. Disponible en:  
<https://fegeca.com/docs/fegeca-guia-suelo-radiante.pdf>
- [32] Unión Europea. Directiva (UE) 2009/28/CE del parlamento europeo y del consejo, de 23 de abril de 2009, que modifica las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE en lo que respecta al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Diario oficial de la Unión Europea L 140/16, 5 de mayo de 2009. Disponible en:  
<https://www.boe.es/doue/2009/140/L00016-00062.pdf>
- [33] Asociación Española de Normalización. (2017). *Bombas de calor con compresor accionado eléctricamente. Ensayos y requisitos para el mercado de equipos para agua caliente sanitaria*. (UNE 16147:2017)
- [34] España. Real Decreto 1053/2014, de 12 de diciembre por el que se aprueba una nueva Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52 “Instalaciones con fines especiales. Infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos, del Reglamento electrotécnico de baja tensión, aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y se modifican otras





instrucciones técnicas complementarias del mismo. Boletín Oficial Del Estado, 31 de diciembre de 2014, núm. 316, pp. 107446 a 107481.

[35] España. Real Decreto 244/19, de 5 de abril por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Boletín Oficial Del Estado, 6 de abril de 2019, núm. 83, pp. 35674 a 35719.

[36] Bortignon, S. *Cómo conectar los paneles solares en paralelo*. [En línea] [Consulta: 3 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

[37] Calcular la separación entre filas de placas solares para evitar sombras. [En línea] [Consulta: 10 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>

[38] IDAE. *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Madrid. Ahorro y Eficiencia de Energética en Climatización, 2011. Disponible en: [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos\\_5654\\_FV\\_pliego\\_condiciones\\_tecnicas\\_instalaciones\\_conectadas\\_a\\_red\\_C20\\_Julio\\_2011\\_3498eaaf.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf)

[39] Asociación Española de Normalización. (2005). *Conductores de cables aislados*. (UNE-EN 60228:2005)